This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

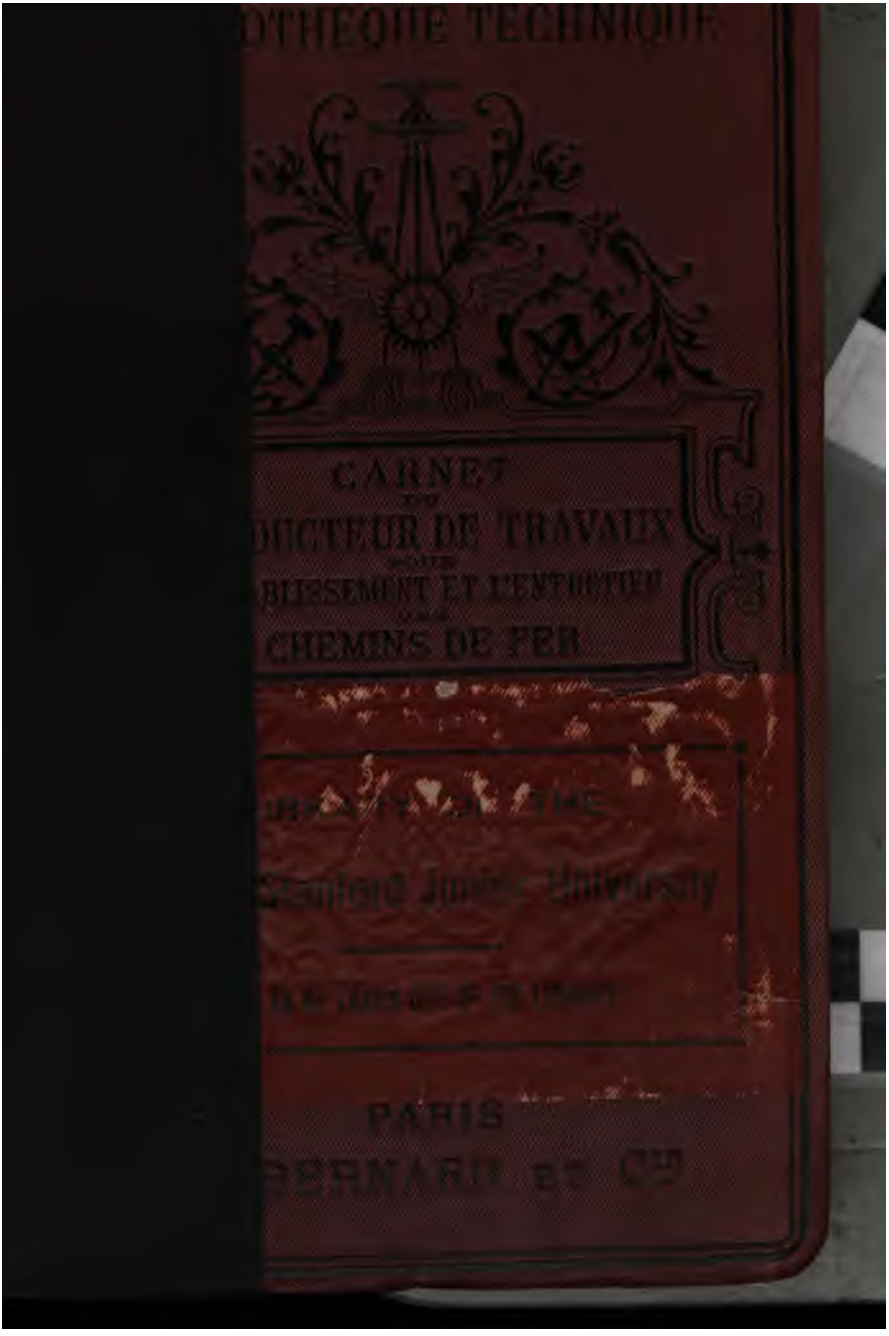
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

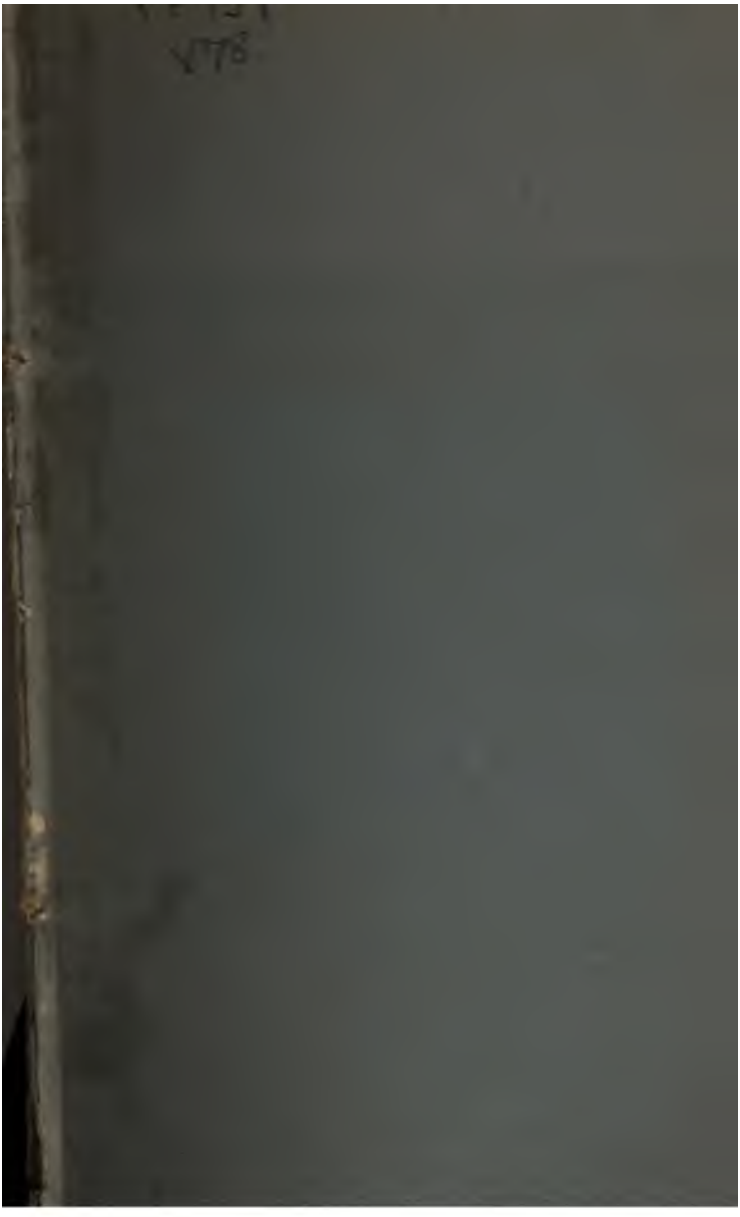
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


OTHEQUE TECHNIQUE
CARNET
DUCTEUR DE TRAVAUX
BLISSEMENT ET L'ENTRETIEN
CHEMINS DE FER
Stanford Junior University
PARIS
BERNARD ET Cie

The Hopkins Library
presented to the
Leland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.



ANCIENNE MAISON BOUILLIANT

A. GRILLOT

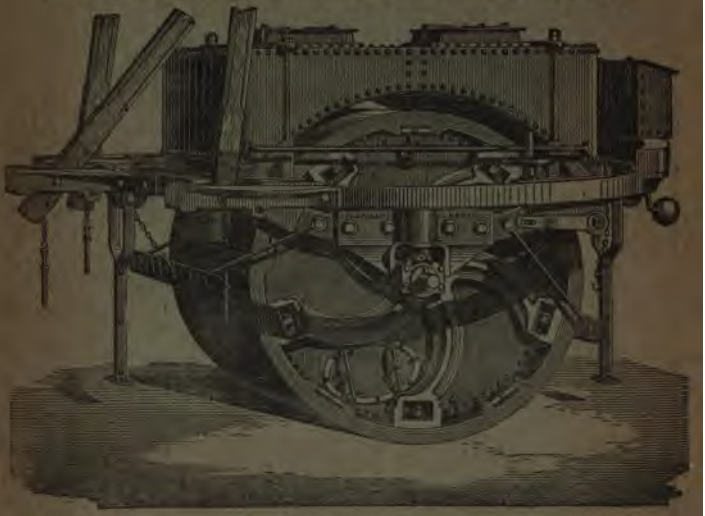
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
FONDEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS — 62, Rue Oberkampf — PARIS

Fournisseur, depuis 1840, de toutes les Administrations de l'État et des Chemins de fer.

Matériel spécial pour Ponts et Chaussées, Chemins vicinaux, Voirie des Villes, Rouleaux compresseurs de Macadam, Tonneaux d'arrosage, Poteaux indicateurs des routes, Bouches d'égout inodores, Bancs, Noms de rues et Numéros de maisons en relief, etc., etc.

Chariots basculeurs pour le transport des Boues, Neiges, etc.



PLAQUES POUR CANIVEAUX COUVERTS. — REGARDS D'ÉGOUTS

Brouettes. — Rateaux. — Rabots. — Racloirs en caoutchouc. — Arrosoirs. — Reisses. — Lunettes de cantonnier. — Anneaux de mesurage. — Masses et Massettes. — Pilons en fonte trempée. — Balais en piassava. — Niveliettes Bolllé. — Guidons. — Boîtes à livret. — Rouleaux de jardins.

Appareil de déclenchement automoteur (SYSTÈME AUBINE)
Pour la protection des trains par eux-mêmes.

CHAINES A MAIN POUR ECHAFAUDAGES

PLAQUES D'INSCRIPTIONS EN RELIEF POUR TOUS USAGES

Machines, Voitures, Jardins, Écuries, Concours et Comices agricoles, etc., etc.

TÉLÉPHONE — **Médaille d'Argent, Exposition Universelle 1889** — *TÉLÉPHONE*

SPÉCIALITÉ D'APPAREILS DE GRAISSAGE

ROBINETS — MASTIC AU MINIUM

MARQUE DÉPOSÉE J.H

R. HENRY

Seul Constructeur Concessionnaire

Des marques ci-contre et des brevets J. HOCHGESAND

PARIS — 117, BOULEVARD DE LA VILLETTE 117 — PARIS

Pour Paliers

Pour têtes de bielles

ndres
es
ontage
ec diverses
ets

Pour t... de t...

Suivant ces graisseur... form...

SYSTÈME J. HOCHGESAND

BREVETÉ S. G. D. G.

La Maison se charge de l'étude et de toute installation de graissage

ROBINET A SOUPAPE ÉQUILIBRÉE POUR VAPEUR ET EAU

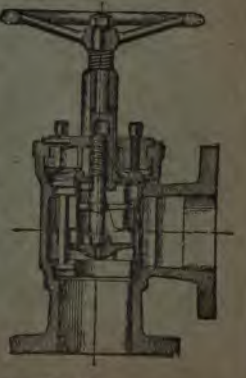
système J. HOCHGESAND, breveté s.g.d.g.

Ce robinet se fait avec corps, bouchon et volant en fonte et toutes les pièces intérieures en bronze, de qualité supérieure.

Il se recommande spécialement pour la Marine et toutes les installations où l'on cherche par tous les moyens d'éviter un arrêt dans le service, vu que :

Sa construction permet de visiter, réparer et même remplacer ses pièces intérieures, sans démonter le corps du robinet.

Sa fabrication au moyen d'outils spéciaux et d'après gabarits, assure une uniformité de dimensions et permet de fournir des pièces de rechange.



Sur demande on envoie les prospectus complets

POMPES CENTRIFUGES

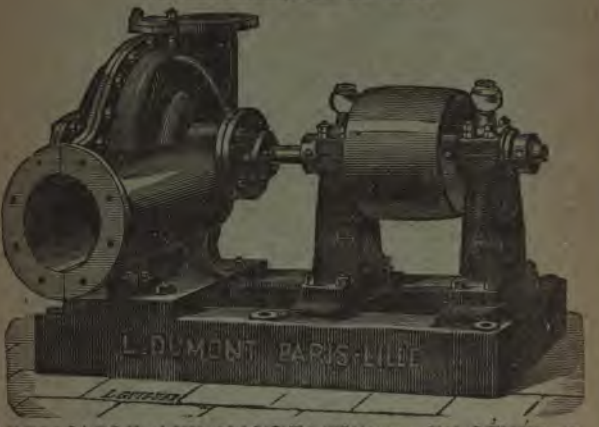
L. DUMONT

Maison fondée en 1863

55, Rue Sedaine PARIS | **Rue d'Isly, 100 LILLE**

EXPOSITION UNIVERSELLE DE PARIS 1889

MÉDAILLE D'OR



APPLICABLE AUX MANUFACTURES EN GÉNÉRAL

TRAVAUX D'ÉPUISEMENT

DESSÈCHEMENT — IRRIGATIONS

Location de machines et pompes

9.000 APPLICATIONS

Envoi franco du Catalogue

CARNET

DU

CONDUCTEUR DE TRAVAUX

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23

CARNET

DU

CONDUCTEUR DE TRAVAUX

POUR

L'ÉTABLISSEMENT ET L'ENTRETIEN

DES

CHEMINS DE FER

RECUEIL

DE

RENSEIGNEMENTS & FORMULES PRATIQUES

UTILES AUX

AGENTS DU SERVICE DE LA VOIE DES CHEMINS DE FER,
CONDUCTEURS DES PONTS ET CHAUSSÉES,
CONTROLEURS DES MINES,
AGENTS-VOYERS, ÉLÈVES DES ÉCOLES, Etc.

PAR

G. VINOT

Ingénieur des Arts et Manufactures
Sous-Che. des Ateliers de la Voie aux Chemins de fer du Midi
Ancien Conducteur de la Voie aux Chemins de fer du Midi
Ancien chef de Section à la Construction des Chemins de fer de l'État.

PARIS

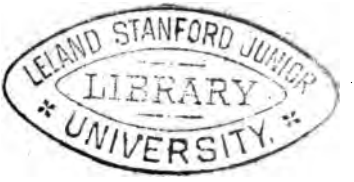
E. BERNARD & Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

53ter, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

—

1895

TF
151
V78



H.S271.

PRÉFACE

Condenser dans un livre portatif, sans préjudice de la clarté, les renseignements et formules utiles dans la pratique des travaux se rattachant plus particulièrement aux chemins de fer, en les faisant suivre d'applications permettant d'en bien saisir la portée et la signification ; tel a été le but de l'auteur.

Le choix des matières traitées, leur exposé exempt des considérations théoriques souvent nuisibles aux recherches, font de ce modeste recueil un Guide qui pourra être d'un grand secours pour le praticien et les Élèves des Écoles.

Les ouvrages consultés par l'auteur sont principalement les suivants :

AIDE-MÉMOIRE, de M. le général Morin,
MANUEL DE L'INGÉNIEUR, de M. Debauve,
RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX, de M. Contamin,
COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE.

CARNET
DU
CONDUCTEUR DE TRAVAUX

ARITHMÉTIQUE & ALGEBRE

Généralités.

Le système métrique a été rendu obligatoire en France, par la loi du 1er janvier 1840.

Le *mètre* est la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre. Un mètre étalon en platine se trouve au Conservatoire des Arts et Métiers à Paris.

Le *degré* du méridien = 111.111 mètres.

La *lieue marine* = 1/20 du degré = 5.555 mètres.

Le *mille marin* = 1/3 de lieue = 1.852 mètres ; il correspond à 1' du méridien.

Le nœud = 1/120 du mille marin = 15 mètres en 30 secondes, ou 1.852 mètres par heure.

La *toise* mesurait $1^{m},949$.

La *livre-monnaie* valait 1 franc.

L'*Année* chez les Romains commençait, à l'origine, le 1er mars. Elle commença ensuite à Pâques. Ce n'est que depuis 1563 qu'elle part du 1er janvier. Il y eût, sous la première République, un nouveau calendrier où l'année partait du premier jour de l'automne, c'est-à-dire du 22 septembre, mais cette innovation ne dura pas.

Coefficients et données diverses

Rapport de la circonférence à son diamètre.	$\pi = 3{,}1416$
Intensité de la pesanteur = le double de l'espace parcouru, pendant la 1re seconde, par un corps qui tombe librement dans le vide	$g = 9{,}8088$ à Paris.
Espace parcouru par un corps qui tombe librement	$e = {}^1/_2 gt^2$
Base des logarithmes népériens ou hyperboliques	$e = 2{,}71828$
Vitesse du son dans l'air par seconde (elle est quatre fois plus grande dans l'eau et dix fois plus grande dans la fonte)	$v = 340$ mètres
Vitesse de la lumière par seconde	$v = 300.000$ kilom.
Equivalent mécanique de la chaleur ou travail de 1 calorie	E = 425 kilogtres
Coefficient de dilatation linéaire du fer. (Le coefficient de dilatation cubique est trois fois plus grand)	$\alpha = 0{,}00001220$
Coefficient de dilatation de l'air et des gaz.	$\alpha = 0{,}00367$
Poids d'un litre d'eau à 4° au-dessus de zéro	P = 1 kilogramme
Densité de l'eau de mer	D = 1,026
Densité de la glace	D = 0,92
Poids du mètre cube d'air à 0° et à la pression de 760 millimètres	P = 1k,293
Chaleur spécifique ou Capacité calorifique de l'air = Calories nécessaires pour élever de 1° la température de 1 kil. d'air	C = 0,24
Densité de la vapeur d'eau par rapport à l'air	D = 0,622
Chaleur latente de fusion de la glace = chaleur absorbée par 1 kilogramme de glace à 0° pour passer à l'état d'eau à 0°.	C = 79 calories
Chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100° = chaleur absorbée par un kilogramme d'eau à 100° pour passer à l'état de vapeur à 100°	C = 537 calories
La température de la terre s'accroît de 1° à chaque 33 mètres de profondeur.	
Température moyenne de Paris	= 10°,7
Densité moyenne de la terre	= 5,50 environ
Hauteur de l'atmosphère respirable	= 10.000m environ
Vitesse des ouragans	= 45m par seconde
Pression exercée par les ouragans par mètre carré	= 275 kilogrammes
Longueur du pendule qui bat la seconde à Paris	= 0m,994
Temps, en secondes, des oscillations du pendule simple	$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

MONNAIES FRANÇAISES

VALEUR		POIDS	DIAMÈTRE	TITRE	RENSEIGNEMENTS DIVERS
1 centime	Bronze ou billon	1 gramme	15 millim.	$^{95}/_{100}$ cuivre + $^{4}/_{100}$ étain + $^{1}/_{100}$ zinc	Le *titre d'un alliage* est le rapport du poids de métal fin au poids total de l'alliage.
2 id.		2 id.	20 id.		
5 id.		5 id.	25 id.		1 gramme de monnaie de bronze vaut 0f,01
10 id.		10 id.	30 id.		id. id. d'argent vaut 0f,20
20 centimes	Argent	1 gramme	15 millim.		id. id. d'or vaut 3f,10
50 id.		2 gr. 50	18 id.	$^{835}/_{1000}$ argent + $^{165}/_{1000}$ cuivre	
1 franc.		5 grammes	23 id.		*Convention monétaire (1885).*
2 id.		10 id.	27 id.		La France, la Grèce, l'Italie, la Suisse et la Belgique se sont constituées à l'état d'Union pour ce qui concerne le titre, le poids, le diamètre et le cours de leurs pièces monnayées d'or et d'argent.
5 id.		25 id.	37 id.	$^{900}/_{1000}$ argent + $^{100}/_{1000}$ cuivre	
5 francs	Or	1 gr. 613	17 millim.		(Arrangement monétaire du 15 nov. 1893).
10 id.		3 gr. 226	19 id.		
20 id.		6 gr. 452	21 id.	$^{9}/_{10}$ or + $^{1}/_{10}$ cuivre	
50 id.		16 gr. 129	28 id.		
100 id.		32 gr. 258	35 id.		

Fractions

Pour qu'une fraction ordinaire irréductible puisse être convertie en fraction décimale, il faut et il suffit que son dénominateur ne contienne pas d'autres facteurs premiers que 2 et 5.

Dans tout autre cas, la fraction décimale est périodique.

Problème.— 13 objets valent 30 francs; il s'agit d'en faire deux groupes, dont les prix ne diffèrent que de 1 centime.

$$30^f,00 = 2^f,30 \times 13 + 0^f,10.$$

Solution : *1er groupe.* — 10 objets à $(2^f,30 + 0,01) = 2^f,31$
2e groupe. — $(13 - 10) = 3$ objets à $2^f,30$.

C'est une opération de comptabilité fréquente pour obtenir les prix à une unité décimale quelconque près.

Elle offre l'avantage en attribuant deux prix, variant de 1 décimale, à une même catégorie d'objets, de permettre de retrouver exactement le total argent sans aucune différence.

Règle à suivre. — Arrêter la division à la décimale demandée ; le reste représentera le premier groupe, auquel il sera attribué le prix représenté par le quotient augmenté de 1 décimale.

Le deuxième groupe, qui sera représenté par les autres objets, figurera au prix exact donné par le quotient.

Proportions et rapports

Si $$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f}.$$

on a $$\frac{a+c+e}{b+d+f} = \frac{a}{b}, \quad \frac{a-c-e}{b-d-f} = \frac{a}{b}$$

et $$\frac{a \pm b}{b} = \frac{c \pm d}{d}, \quad a \times d = b \times c.$$

Progression arithmétique

Somme des n premiers termes d'une progression de raison r et de premier terme a.

$$S = \frac{(2a + (n-1)r)n}{2}.$$

Si les deux termes extrêmes sont connus, a et l.

$$S = \frac{a+l}{2} \times n.$$

Application I. — Somme des n premiers nombres impairs $= n^2$.

Application II. — Sommation des piles de tuyaux ou de rails à double champignon posés à plat.

Les tas étant complets, c'est la somme des n premiers nombres $= \frac{1+n}{2} \times n$.

n représente alors le rang inférieur et 1 le sommet.

Règle. — Le tas étant régulier, complet ou incomplet, multiplier la demi-somme des bases par l'arête.

Fig. 1

Progression géométrique

Somme des n premiers termes d'une progression de raison q et de premier terme a.

$$S = \frac{a\,(q^n - 1)}{q-1}.$$

Si $q < 1$ et $n =$ l'infini, $S = \frac{a}{1-q}$.

Problème.— Un mobile a un mouvement tel qu'il parcourt dans la première minute une distance de 100 mètres, dans la deuxième, la moitié de 100 mètres ou 50 mètres ; dans la troisième, la moitié de 50

ou 25 mètres, et ainsi de suite pendant toute l'éternité; on demande quel chemin il aura parcouru.

SOLUTION : $\frac{100}{1-1/2} = 200$ mètres.

INTÉRÊTS COMPOSÉS

Un capital A est placé à intérêts composés au taux de r %. Au bout de n années, ce capital sera devenu:

$$C = A\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Problème I : $A = 10000f \quad r = 5f \quad n = 10$

SOLUTION : $C = 10000\ (1 + 0{,}05)^{10} = 10000 \times \overline{1{,}05}^{10}$

$\text{Log.}\,10000 + 10 \log. 1{,}05 = 4 + 0{,}2118930$

d'où :

$C = 16288$ fr. 95.

Problème II.— Déterminer au bout de combien de temps un capital, placé à intérêts composés à 5 0/0, aura doublé.

SOLUTION : $A\ (1 + 0{,}05)^x = 2A$.

d'où : $\overline{1{,}05}^x = 2 \qquad x \log. 1{,}05 = \log. 2,$

ou $x = \frac{\log. 2}{\log. 1{,}05} = 14$ années, 2.

ANNUITÉS

On s'engage à payer chaque année pendant n années une même somme a, appelée *annuité*, pour se libérer d'une dette actuelle A.

$$A = \frac{a}{\frac{r}{100}}\left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n}\right)$$

Pour une rente perpétuelle $n = \infty$

$$A = \frac{a}{\frac{r}{100}}$$

Problème. — Une ville fait un emprunt de 100.000 fr. à 5 0/0 qu'elle s'engage à amortir en vingt années. Quelle somme devra-t-elle payer chaque année ?

SOLUTION : $100000^f = \frac{a}{0{,}05}\left(1-\left(\frac{1}{1{,}05}\right)^{20}\right)$; $\overline{1{,}05}^{20} = 2{,}6533$

d'où : $$a = \frac{100000 \times 0{,}05}{1-\frac{1}{2{,}6533}} = 8024 \text{ fr. } 38.$$

PERMUTATIONS

On appelle *permutations* de m objets les dispositions que l'on peut former avec ces m objets pris ensemble.

Ce nombre est égal à :

$$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times . \ . \ . \ . \times m.$$

Problème. — 10 soldats se trouvent alignés sur un seul rang ; de combien de manières peut-on les grouper ensemble ?

SOLUTION :

$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 = 3.628.800$ manières.

SOMMATION DES PILES DE BOULETS

I. — A base carrée :

$$S = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

n = nombre de boulets d'un côté de la base.

II. — A base rectangulaire :

$$S = \frac{n(n+1)(3m-n+1)}{6}$$

n = nombre de boulets de la largeur de la base.

m = id. longueur de la base.

III. — A base triangulaire :

$$S = \frac{n(n+1)(n+2)}{6}$$

n = nombre de boulets d'un des côtés de la base.

Equations du deuxième degré

Les équations du deuxième degré se présentent sous la forme :

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x' = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad x'' = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Relations entre les racines $\begin{cases} x' + x'' = -\dfrac{b}{a} \\ x'\,x'' = \dfrac{c}{a}. \end{cases}$

Relation entre la valeur du trinôme du deuxième degré et les racines de l'équation obtenue en l'égalant à zéro.

$$ax^2 + bx + c = a\,(x - x')\,(x - x'').$$

Equations bicarrées

$$ax^4 + bx^2 + c = 0$$

En posant $x^2 = X$ on retombe dans le cas précédent :

$$aX^2 + bX + c = 0$$

Cette équation est résolue comme ci-dessus ; on a ensuite :

$$x = \sqrt{X}.$$

GÉOMÉTRIE PLANE

Angles — Sécantes — Tangentes.

Angle au centre α_0 = arc AB
» α_1 inscrit = 1/2 arc AB
» α_2 extérieur = 1/2 (arc AB — — arc CD)
» α_3 intérieur = 1/2 (arc AB + + arc A'B')

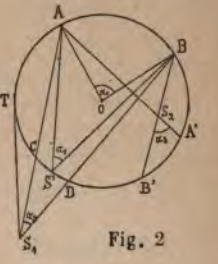


Fig. 2

On a aussi les relations suivantes :

$S_1A \times S_1C = S_1B \times S_1D = (S_1T)^2$
$S_2A \times S_2A' = S_2B \times S_2B'$.

Mesure des Angles d'un polygone

La somme des angles d'un polygone est égale à autant de fois deux angles droits qu'il y a de côtés moins deux.

n nombre des côtés d'un polygone.

Somme des angles $= (n - 2)$ 2 angles droits.

Problème I. — Avec quels genres de polygones réguliers peut on faire un carrelage?

n nombre des côtés des polygones employés dans le carrelage.

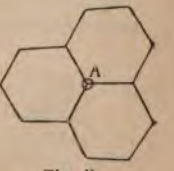


Fig. 3

Les carreaux devant être réunis sans lacune par leur sommet en un même point A, il faut que la somme des angles juxtaposés soit exactement égale à quatre angles droits.

Soit K le nombre de polygones accolés autour d'un même point A, on peut poser :

$$\frac{(n-2)2}{n} \times K = 4.$$

En donnant à n différentes valeurs : 3, 4, 5, 6, 7, etc., le problème recevra une solution toutes les fois que K sera un nombre entier.

Avec des Triangles . . .	$\frac{2}{3} \times K = 4$	$K = 6$	*Possible.*
id. Carrés	$\frac{4}{4} \times K = 4$	$K = 4$	*Possible.*
id. Pentagones . .	$\frac{6}{5} \times K = 4$	$K = \frac{20}{6}$	Impossible.
id. Hexagones. . .	$\frac{8}{6} \times K = 4$	$K = 3$	*Possible.*
id. Heptagones . .	$\frac{10}{7} \times K = 4$	$K = \frac{28}{10}$	Impossible
id. Octogones . . .	$\frac{12}{8} \times K = 4$	$K = \frac{32}{12}$	id.
id. Ennéagones . .	$\frac{14}{9} \times K = 4$	$K = \frac{36}{14}$	id.
id. Décagones . . .	$\frac{16}{10} \times K = 4$	$K = \frac{40}{16}$	id.
id. Endécagones . .	$\frac{18}{11} \times K = 4$	$K = \frac{44}{18}$	id.
id. Dodécagones . .	$\frac{20}{12} \times K = 4$	$K = \frac{48}{20}$	id.

Problème II. — Trouver sur un plan un point M tel que deux lignes données AB, BC, soient vues de ce point sous des angles donnés.

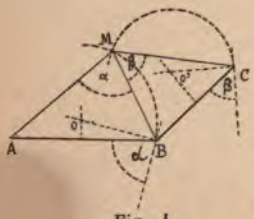


Fig. 4

Par B et C, on mène deux droites faisant avec AB et BC respectivement les angles α, β.

Par les points B et C on mène des perpendiculaires à ces deux droites qui rencontrent, en des points o et o' les perpendiculaires élevées milieux des droites données AB et BC.

Les circonférences décrites des points o, o' avec oB et $o'C$ comme rayons se coupent au point cherché M.

Propriétés des Triangles quelconques

1° *Hauteurs d'un triangle.*

Elles concourent au même point P.

2° *Perpendiculaires élevées au milieu des côtés d'un triangle.*

Elles concourent au même point P_1 qui est le centre du cercle circonscrit.

Fig. 5

3° *Bissectrices des angles d'un triangle.*

Elles concourent au même point P_2 qui est le centre du cercle inscrit.

On a la relation :

$$\frac{AB}{AC} = \frac{BB_1}{CB_1}.$$

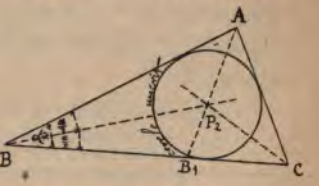


Fig. 6

4° *Médianes d'un triangle.*

Elles concourent au même point P_3 qui est le centre de gravité de la surface du triangle.

$$MP_3 = \frac{1}{3} AM.$$

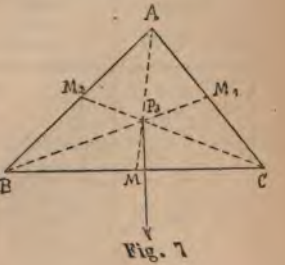


Fig. 7

Propriétés des Triangles rectangles

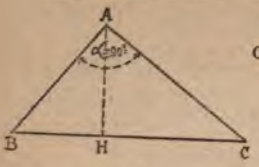


Fig. 8

Si l'on abaisse la perpendiculaire AH sur BC :

$$\overline{BC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{AC}^2$$
$$\overline{AH}^2 = BH \times HC$$
$$\overline{AB}^2 = BC \times BH$$
$$\overline{AC}^2 = BC \times HC.$$

Relation entre les diagonales et les côtés du parallélogramme

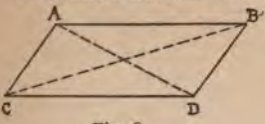


Fig. 9

$$\overline{AD}^2 + \overline{BC}^2 = 2\overline{AB}^2 + 2\overline{AC}^2.$$

Périmètres des Polygones.

Principe I. — De tous les polygones de n côtés inscrits dans un cercle, c'est le polygone régulier qui a le plus grand périmètre.

Principe II. — Le rapport des périmètres de deux polygones semblables est égal à celui de deux côtés homologues.

Tableau permettant de trouver le périmètre, la surface d'un polygone régulier et les rayons des cercles inscrit et circonscrit.

NOMBRE de côtés des polygones	VALEUR de R et de r en fonction du côté du polygone C		SURFACE en fonction du côté
	R rayon du cercle circonscrit	r rayon du cercle inscrit ou apothème	
3. . .	0,577 × c	0,289 × c	0,433 × c^2
4. . .	0,707 × c	0,500 × c	1,000 × c^2
5. . .	0,851 × c	0,688 × c	1,721 × c^2
6. . .	1,000 × c	0,866 × c	2,598 × c^2
7. . .	1,152 × c	1,038 × c	3,634 × c^2
8. . .	1,307 × c	1,207 × c	4,828 × c^2
. .	1,462 × c	1,374 × c	6,182 × c^2
. .	1,618 × c	1,539 × c	7,694 × c^2
. .	1,776 × c	1,703 × c	9,366 × c^2
. .	1,930 × c	1,866 × c	11,196 × c^2

Développement des courbes.

Circonférence $= 2\pi R$.

Arcs de Cercle : sont proportionnels à l'angle au centre et au rayon.

De nombreuses tables donnent le développement des arcs, connaissant l'angle et le rayon, ou connaissant la flèche et la corde (voir plus loin cette dernière table), D'autres, comme celle de *Gaunin* permettent, en outre, d'obtenir rapidement toutes les lignes trigonométriques d'un arc ; elles sont d'un précieux secours dans les tracés de chemins de fer.

Surfaces des Polygones.

Principe I. — Les surfaces de deux polygones semblables sont entre elles comme le carré de leurs côtés homologues.

Principe II. — De tous les triangles de même périmètre, le triangle équilatéral est celui dont la surface est maxima.

Principe III. — De tous les rectangles de même périmètre, le carré est celui dont la surface est maxima.

Triangle :

$$S = \frac{1}{2} B \times H, \quad \text{ou} \quad S = \sqrt{p\,(p-a)\,(p-b)\,(p-c)}$$

p étant la moitié du périmètre total ; a, b, c, les trois côtés du triangle.

Trapèze :

$$S = \frac{1}{2}(B + b)H.$$

Polygones réguliers. — Le tableau précédent permet de résoudre les différents problèmes de la pratique relatifs au périmètre, la surface et les rayons des cercles inscrit et circonscrit.

Problème I. — Quelle est la surface d'un octogone régulier dont le côté = 1m,50.

SOLUTION : $S = 4{,}828 \times \overline{1{,}50}^2 = 10^{m2}86.$

Problème II. — Quelle est la surface de l'octogone régulier inscrit dans un cercle d'un rayon = 2m,00.

SOLUTION : $R = 2^m = 1{,}307 \times c$

d'où $c = \frac{2}{1{,}307}$ et $S = 4{,}828 \times \left(\frac{2}{1{,}307}\right)^2 = 11^{m2}{,}31.$

Problème III. — Quel est le rayon du cercle circonscrit à l'octogone régulier d'une surface de 30^{m2},

SOLUTION : $30 = 4{,}828 \times c^2$, or $R = 1{,}307 \times c$

$$c = \frac{R}{1{,}307} \quad \text{donc} \quad 30 = 4{,}828 \times \frac{R^2}{\overline{1{,}307}^2},$$

$$\text{d'où} \quad R = \sqrt{\frac{30 \times (1{,}307)^2}{4{,}828}} = 3^m{,}25.$$

SURFACES COURBES.

Cercle $= \pi R^2$.

Secteur $= 1/2\ R \times$ arc.

Segment $=$ *Secteur* $-$ *Triangle*

} sont proportionnels à l'angle au centre et au rayon.

On trouve des tables où les surfaces des segments sont calculées en fonction du rayon et de l'angle, ou de la flèche et de la corde (voir plus loin cette dernière table).

Fig. 10

Fig. 11

Ellipse $= \pi ab$, a et b étant les deux demi-grands axes.

Segment d'ellipse. — On a :

$$\frac{\text{Segment elliptique A B'C'}}{\text{Segment circulaire ABC}} = \frac{b}{a}.$$

On calculera le segment circulaire dont on déduira le segment elliptique.

Segment de parabole :

$$S = \frac{2}{3}x \times 2y = \frac{4}{3}xy.$$

Mesure des surfaces planes irrégulières.

Trouver la surface comprise entre deux courbes cc', $c''c'''$ et les deux ordonnées h_1 et h_n.

1° *Méthode ordinaire.* — Diviser la ligne AB en un nombre quelconque de parties égales d, et par les points de division, mener des ordonnées h_2, h_3, h_4, etc.

$$S = d\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 + \cdots \frac{h_n}{2}\right).$$

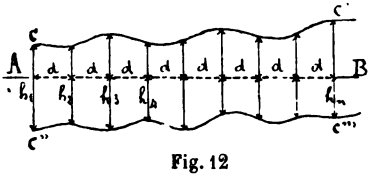


Fig. 12

2° *Méthode de Thomas Simpson.* — Diviser la ligne AB en un nombre pair de parties égales d, et, par chacun des points de division, mener les ordonnées h_2, h_3, h_4, etc.

$$S = \frac{d}{3}\left[(h_1 + h_n) + 4(h_2 + h_4 + \cdots h_{n-1}) + 2(h_3 + \cdots h_{n-2})\right]$$

TRIGONOMÉTRIE

Résolution des triangles.

Triangles rectangles

Les formules qui servent à résoudre tous les cas sont les suivantes :

$a^2 = b^2 + c^2$
$B + C = 90°$
$b = a \sin.B = c \operatorname{tg}.B$
$c = a \sin.C = b \operatorname{tg}.C$
$S = 1/2\ bc = 1/2 a^2 \sin.B \sin.C.$

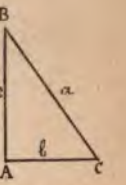


Fig. 13

Triangles quelconques

1er Cas.

Données : $a, B, C.$ Inconnues : $A, b, c, S.$

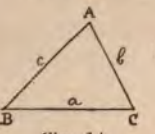


Fig. 14

Formules :

$A = 180° - (B + C)$

$b = \dfrac{a \sin.B}{\sin.A}$	$\log.b = \log.a + \log.\sin.B - \log.\sin.A$
$c = \dfrac{a \sin.C}{\sin.A}$	$\log.c = \log.a + \log.\sin.C - \log.\sin.A$
$S = \dfrac{a^2 \sin.B \sin.C}{2 \sin.A}$	$\log.S = 2\log.a + \log.\sin.B + \log.\sin.C - \log.\sin.A - \log.2.$

2e Cas.

Données : $a, b, A,$ Inconnues : $B, C, c, S.$

Formules :

$\sin.B = \dfrac{b \sin.A}{a}$	$\log.\sin.B = \log.b + \log.\sin.A - \log.a$
$C = 180° - (A + B)$	
$= \dfrac{a \sin.C}{\sin.A}$	$\log.c = \log.a + \log.\sin.C - \log.\sin.A$
$1/2 ab \sin.C$	$\log.S = \log.a + \log.b + \log.\sin.C - \log.2.$

3e Cas.

Données : a, b, C. — Inconnues : A, B, c, S.

$\frac{A+B}{2} = 90° - \frac{C}{2}$ *Formules :*

$\text{tg}.\frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b}\cot\frac{C}{2}$	$\log.\text{tg}\left(\frac{A-B}{2}\right) = \log.(a-b) + \log.\cot.\frac{C}{2} - \log.(a+b)$
$c = \frac{a \sin.C}{\sin.A}$	$\log.c = \log.a + \log.\sin.C - \log.\sin.A$
$S = 1/2\, ab \sin.C$	$\log.S = \log.a + \log.b + \log.\sin.C - \log.2$

4e Cas.

Données : a, b, c. — Inconnues : A, B, C, S.

Formules :

$r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}}$	$\log.\ r = 1/2\,[\log.(p-a) + \log.(p-b) + \log.(p-c) - \log.p]$
$\text{tg}.\frac{A}{2} = \frac{r}{p-a}$	$\log.\text{tg}.\frac{A}{2} = \log.r - \log.(p-a)$
$\text{tg}.\frac{B}{2} = \frac{r}{p-b}$	$\log.\text{tg}.\frac{B}{2} = \log.r - \log.(p-b)$
$\text{tg}.\frac{C}{2} = \frac{r}{p-c}$	$\log.\text{tg}.\frac{C}{2} = \log.r - \log.(p-c)$
$S = pr$	$\log.S = \log.p + \log.r$

On a posé $r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}}$ pour simplifier les formules.

Problème. — Dans le tracé d'un chemin de fer, on a à raccorder deux alignements AL, AL', dont le sommet A est inaccessible, par un arc de cercle tangent à ces deux alignements de rayon R connu.

Les inconnues sont les deux points de tangence T et T'.

Pour les déterminer on jalonne une sécante BC que

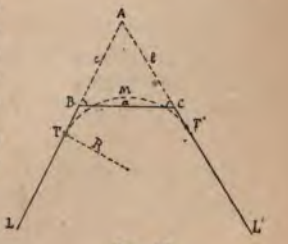


Fig. 15

l'on peut mesurer, et on lève au théodolite les angles B et C.

Le premier cas de résolution des triangles quelconques permet alors de trouver dans le triangle ABC, l'angle A et les deux côtés AB, AC; et les tables, comme celle de Gaunin, donneront la longueur de la tangente AT.

On aura le point T par différence entre AT et AB. Il en sera de même du point T'.

(Voir plus loin, au tracé des courbes sur le terrain, comment se fera le tracé de l'arc TMT' avec ces éléments).

Exemple de calcul trigonométrique

Données . . $a = 647{,}56$, $B = 36^\circ\,14'\,23'',12$, $C = 75^\circ\,13'\,43'',21$

Inconnues $A = 68^\circ\,31'\,53'',67$, $b = 411^m,35$, $c = 672^m,84$, $S = 128786^m,85$

Formules:

$$A = 180^\circ - (B + C)$$

$$\log. b = \log. a + \log. \sin. B - \log. \sin. A$$

$$\log. c = \log. a + \log. \sin. C - \log. \sin. A$$

$$\log. S = 2 \log. a + \log. \sin. B + \log. \sin. C - \log. \sin. A - \log. 2.$$

CALCULS AUXILIAIRES

Calcul de log. *a* :

log. 647,56 = 2,8112800

Calcul de log. sin. B :

log. sin. 36°14'20" = $\overline{1}$,7717001
pour 3"12 = 90
Log. sin B = $\overline{1}$,7717091

Calcul de log. sin. A :

log. sin. 68°31'50" = $\overline{1}$,9687691
pour 3"67 = 30
Log sin. A = $\overline{1}$,9687721

CALCULS DES INCONNUES

Calcul de b

log. *a* = 2,8112800
log. sin. B = $\overline{1}$,7717091
−log. sin. A = 0,0312279
log. *b* = 2,6142170
pour 6142115..41135
b = 411m,35.

Calcul de c :

log. *a* = 2,8112800
log. sin. C = $\overline{1}$,9854045
−log. sin. A = 0,0312279
log. *c* = 2,8279124
pour 8279118..67284
c = 672m,84.

CALCULS AUXILIAIRES
(Suite)

Calcul de log. sin. C

log. sin. 75°13'40" = $\bar{1}$,9854027
pour 3"21 = 18
Log. sin. C = $\bar{1}$,9854045

CALCULS DES INCONNUES
(Suite)

Calcul de S :

2 log. a = 5,6225600
log. sin. B = $\bar{1}$,7717091
log. sin. C = $\bar{1}$,9854045
— log. sin. A = 0,0312279
— log. 2 = $\bar{1}$,6989700
log. S = 5,1098715
pour 1098484.. 12878
pour 231.. 0,685
S = 128786$^{m^2}$,85.

Calcul d'un changement à déviation à deux voies avec croisement de 0,09 et rails à double champignon.

DONNÉES :

E = 1^m,445 . . . Ecartement intérieur de la voie.

α = 1°19'45",44. . Angle de l'aiguille avec le rail de la voie directe déduit de l'ordonnée : (55^{mm} + 61^{mm}) = 116^{cm} au talon de l'aiguille.

α' = 5°9'11",30. . Angle du croisement.

aq = 27^m,40 . . . Distance entre la pointe de l'aiguille et la pointe mathématique du croisement.

ab = 5^m,00 . . . Longueur de l'aiguille.

$\beta = \frac{\alpha' - \alpha}{2}$ = 1°54'42",93.... 1/2 angle au centre de la courbe.

Fig. 16

INCONNUES :

R = rayon du cercle extérieur = 309^m,229.
Points de tangence de la courbe b et d.

Développement de la courbe extérieure dont l'origine est au talon de l'aiguille b et la fin en d, à $1^m,808$ de la pointe mathématique du croisement $= 20^m,638$.

CALCULS AUXILIAIRES

Calcul de ap :

$$ap = \frac{ar}{\cos.\alpha}$$

$$ar = \frac{rp}{\text{tg.}\alpha} = \frac{E - aq\ \text{tg.}\alpha'}{\text{tg.}\alpha - \text{tg.}\alpha'} = \ldots \quad 15^m,3185$$

$$\log. ap = \log. ar - \log. \cos.\alpha$$

$$\log. ar = 1,1852163$$

$$-\log. \cos.\alpha = 0,0001169$$

$$\log. ap = 1,1853332$$

$$ap = \ldots\ldots \quad 15^m,32262$$

Calcul de pc :

$$pc = \frac{sc}{\cos.\alpha'}$$

$$sc = aq - ar = \frac{E - aq\ \text{tg.}\alpha}{\text{tg.}\alpha' - \text{tg.}\alpha} = \ldots \quad 12^m,0815$$

$$\log. sc = 1,0821210$$

$$-\log. \cos.\alpha' = 0,0017588$$

$$\log. pc = 1,0838798$$

$$pc = \ldots\ldots \quad 12^m,13053$$

CALCUL DES INCONNUES

Calcul de bp :

$$bp = ap - ab = 15^m,32262 - 5^m = 10^m,32262.$$

Calcul de $R = \frac{bp}{\text{tg.}\beta}$:

$$\log. bp = 1,0137900$$

$$-\log. \text{tg.}\beta = 1,4764906$$

$$2,4902806$$

$$R = 309^m,2292.$$

Calcul de cd :

$$cd = pc - bp = 12,13053 - 10,32262 = 1,80791.$$

Le raccordement des rails avec le croisement tg. 0,09 a lieu, à la Compagnie du Midi, à 0,700 en deça de la pointe mathématique du croisement.

Fig. 17

Distance mesurée sur la courbe entre le talon de l'aiguille et le raccordement avec le croisement

$$= 20^{m},6375 + 1^{m},8079 - 0,700 = 21^{m},7454$$

Cette longueur est formée par quatre rails, savoir :

$$\left.\begin{array}{l} 3 \text{ de } 5^{m},500 = 16^{m},500 \\ 1 \text{ de } 5^{m},225 = 5^{m},225 \end{array}\right\} 21^{m},725$$

dont la différence de 20 millimètres est rachetée sur les joints existant entre le talon de l'aiguille et le raccordement avec le croisement.

Remarque. — L'angle 5°9'11",30 étant l'angle du croisement, sa tangente n'est pas 0,09. Cette dernière quantité représente le double de la tangente de l'angle :

$$\frac{5°9'11",30}{2}.$$

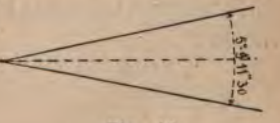


Fig. 18

Applications principales de la trigonométrie au levé des plans.

Problème (1). — Mener au point C une perpendiculaire à une droite donnée AB à l'aide de la chaîne d'arpenteur seule ?

Le problème sera résolu en formant un triangle ayant 3 et 4 mètres pour côtés et 5 mètres pour hypoténuse.

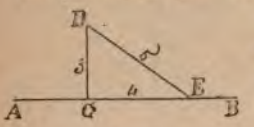


Fig. 19

En effet :

$$\overline{5}^2 = \overline{3}^2 + \overline{4}^2.$$

Le triangle qui aurait pour côtés 6, 8 et 10 mètres remplirait les mêmes conditions, il en serait de même de tout autre triangle semblable.

Problème (2). — Mesurer la largeur BC d'une rivière en se servant de l'équerre d'arpenteur ?

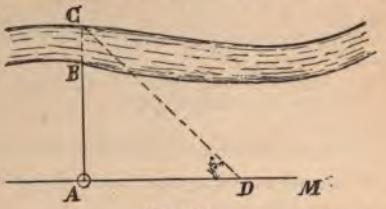


Fig. 20

Mener AM perpendiculaire sur CB prolongée. Puis s'acheminer sur AM avec l'équerre d'arpenteur jusqu'à un point D tel que le point C soit vu sous un angle de 45°.

Alors $AD = AC = BC + AB$

d'où : $BC = AD - AB$.

Problème (3). — Prolonger une ligne droite AA' au-delà d'un obstacle qui arrête la vue.

1° Par un point C élever la perpendiculaire CD, et former le rectangle CDEG. Le point G sera un point

de la droite prolongée. Il suffira d'en déterminer un deuxième.

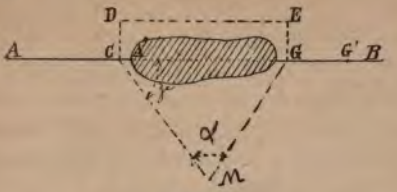


Fig. 21

2° Un second moyen consiste à prendre un point M en dehors de l'obstacle, de jalonner deux droites MC et MG, et de mesurer ensuite les deux angles α et γ du triangle CGM. Dans ce triangle, on connaîtra donc CM et les deux angles adjacents ; la longueur MG sera déterminée, et par suite, le point G. Un second point G' trouvé de la même façon déterminera le prolongement cherché.

Problème (4). — Trouver la distance de deux points A et B inaccessibles mais visibles ?

Premier moyen. — A l'aide de l'équerre. On déterminera comme au problème (2) les longueurs AA', BB'. Dans le trapèze ABA'B' tout sera connu sauf AB qui s'en déduira facilement.

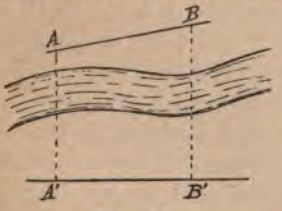


Fig. 22

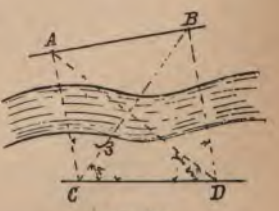


Fig. 23

Deuxième moyen. — On tracera une base CD et des points C et D, on mesurera les angles $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, qui per-

mettront d'avoir CB et CA par les calculs trigonométriques connus. Dans le triangle ABC l'on connaîtra deux côtés CA, CB et l'angle $C = \beta - \alpha$; il sera dès lors facile d'en déduire AB.

Problème (3). — Déterminer la hauteur d'un édifice dont le pied est accessible et dont la base est sur un plan horizontal ?

Premier moyen. — Avec un graphomètre ou un cercle répétiteur, on mesurera l'angle α avec l'horizon. La connaissance de la longueur AO et α permettra de calculer SA. La hauteur cherchée est égale à SA + AB.

Fig. 24

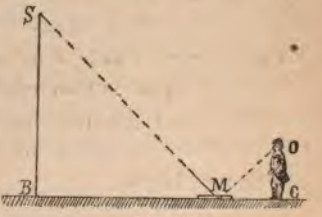


Fig. 25

Deuxième moyen. — On se servira d'un miroir M que l'on disposera de telle sorte que MC = CO et que le sommet S *y* soit vu par réflexion.

Alors BS = BM.

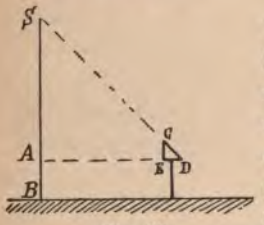


Fig. 26

Troisième moyen. — Une équerre à 45° ECD en bois ayant 20 à 30 centimètres de côtés sera fixée sur un piquet enfoncé dans le sol, comme l'indique le croquis de façon que ED étant horizontal l'œil placé en D aperçoive le sommet S.

Dans ces conditions SA = AD.

Hauteur cherchée = SA + AB.

Quatrième moyen. — Deux jalons de hauteur différente DH et CG sont plantés verticalement de façon à ce que la droite DC passe au sommet S. Les triangles semblables SAD, CED donnent SA connaissant AD, ED et CE.

Hauteur cherchée
$= SA + AB.$

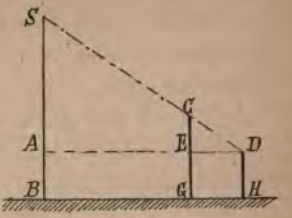


Fig. 27

Problème (6). — Mesurer la hauteur d'un arbre au moyen de l'ombre portée ?

On plantera à côté un jalon d'une hauteur connue dont on mesurera l'ombre portée sur le même plan que l'ombre de l'arbre. En établissant la proportionnalité des hauteurs de l'arbre et du jalon aux deux ombres portées, on déduira la hauteur cherchée.

Problème (7). — Mesurer la hauteur d'une montagne au-dessus du niveau de la plaine ?

On mesure dans la plaine une base CD horizontale

Fig. 28

et on détermine au moyen du graphomètre les angles

C et D du triangle ACD. On mesure ensuite l'angle que la droite AC fait avec l'horizon, ce qui donne l'angle C du triangle rectangle ABC.

On connaît alors le côté CD et les deux angles adjacents du triangle ACD; on peut donc calculer AC.

Puis dans le triangle rectangle ABC, on connaît l'hypoténuse AC et l'angle ACB, ce qui permet de calculer la hauteur AB.

TRACÉ PRATIQUE

DES

COURBES SUR LE TERRAIN

Cercle.

TRACÉ AU MOYEN DES TANGENTES.

1er Cas. — *2 alignements AL, AL' sont tracés sur le terrain, les raccorder par un arc de cercle de rayon R.* (Fig. 29).

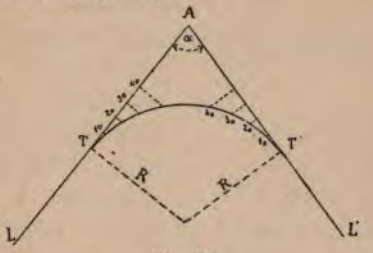


Fig. 29

On mesure avec le théodolite l'angle au sommet α, des tables donnent les longueurs de la tangente AT, qu'il serait d'ailleurs facile de calculer.

Pour le tracé de l'arc, on pourra se servir de deux sortes de tables.

1°. — Tables donnant les ordonnées correspondant à des abscisses espacées de 10 mètres en 10 mètres. (Côté gauche de la figure 29.)

Dans ce tracé, les différents points de la courbe ne sont pas équidistants. Ces ordonnées figurent dans les colonnes (1) du tableau suivant.

2°. — Tables donnant les abscisses et les ordonnées correspondant à des arcs de 10 mètres entre les différents points de la courbe (côté droit de la figure 29). Ces abscisses et ordonnées figurent dans les colonnes (2) et (3) du tableau suivant.

2e Cas. — *Le point d'intersection A est inaccessible.* (Fig. 30 et 31.)

Ainsi qu'on l'a vu dans la trigonométrie, on mène une sécante BC permettant de déterminer les points de tangence T et T'. On pourra opérer ensuite de deux manières différentes.

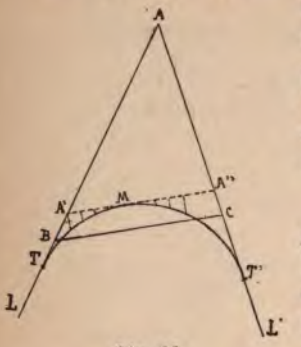


Fig. 30

1°. — *Par la tangente parallèle à la sécante.* (fig. 30). Par les tables, on obtiendra la valeur de la tangente TA'=A'M, correspondant à l'angle au sommet A'=B mesuré, ainsi que la valeur de la tangente T'A"=A"M déduite de l'angle au sommet A"=C également mesuré. Le tracé de la tangente A'A" parallèle à la sécante BC se fait alors facilement, ainsi que la détermination du point M.

Ensuite le tracé de l'arc s'obtient en opérant sur chacune des quatre tangentes TA',A'M,MA",A"T', comme on a opéré dans le premier cas sur les deux tangentes AT,AT'.

2°. — *Par la tangente au sommet de la courbe.* (Fig. 31). — On préfère quelquefois cette méthode pour avoir un tracé symétrique.

Pour cela, on cherchera dans des tables les tan-

gentes $TA' = A'M = MA'' = A''T'$ correspondant à l'angle au sommet $A' = A'' = \left(90° + \frac{A}{2}\right)$. On fera

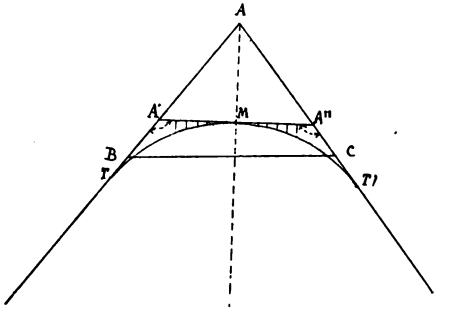


Fig. 31

ensuite le tracé sur les quatre tangentes comme précédemment.

Tracé au moyen de la corde.

Le tracé par la tangente est de beaucoup le plus employé.

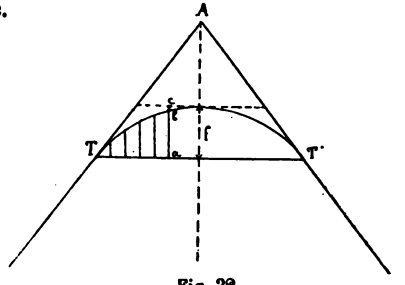


Fig. 32

Cependant, si un obstacle empêche de s'en servir, on mène la corde TT' (fig. 32), et on opère sur cette ligne absolument comme sur les tangentes, en ayant soin de remarquer qu'une ordonnée quelconque ab

menée sur la corde est égale à la flèche *f* diminuée de l'ordonnée *cb* menée sur la tangente.

Les éléments du problème, flèche et corde, se trouvent rapidement dans des tables spéciales comme celles de Gaunin.

Tracé au moyen d'une sécante.

Une sécante quelconque BC peut servir à tracer la courbe de la même façon qu'au moyen de la corde, mais à la condition de connaître le milieu D de la corde B'C', point de départ du tracé, ainsi que la flèche MD.

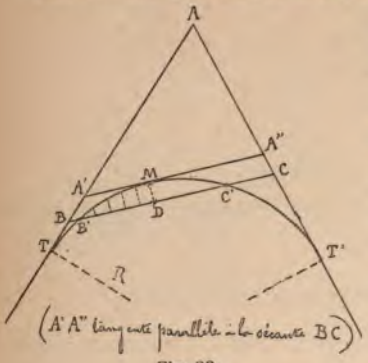


Fig. 33

$BD = A'M + BA' \cos B$

et flèche

$MD = BA' \sin B$.

Tracé de l'axe d'un souterrain en courbe.

Données. — L'angle au centre O et les deux alignements LT, L'T' à raccorder aux points T, T'.

La condition indispensable est que les lignes d'opération se rapprochent le plus possible de la courbe à tracer.

1° Par tangentes successives.

A des divisions égales α de l'angle O correspondront des arcs égaux TA = AB = BC = ... etc,.. que l'on tracera facilement après avoir calculé les tangentes TM = MA = AM' = ... etc. Connaissant le

point M, on aura A et M' de la ligne tangente MA prolongée en faisant l'angle α avec la première tan-

Fig. 34

gente LTM, et ainsi de suite. Les points A,B,C.... etc., seront les points de la courbe.

2° Par cordes successives.

A des divisions α égales de l'angle O correspondront des arcs égaux TA = AA' = A'A" = ...

TB est le prolongement de l'alignement LT.

AB' est le prolongement de la corde TA.

A'B" est le prolongement de la corde AA', et ainsi de suite.

Fig. 35

Le calcul donnera les longueurs de TB et BA, puis de AB' = A'B" = ... et B'A' = B"A" = ... telles que BA, B'A', B"A" soient perpendiculaires, respectivement sur TB, AB', A'B". Les points A, A', A"..... de la courbe se trouveront ainsi déterminés.

Tableaux des Abscisses et Ordonnées des Arcs de cercle

Colonnes (1) : *Équidistances sur la tangente.* — Colonnes (2) et (3) : *Équidistances sur la courbe.*

Abscisses sur la tangente se rapportant aux colonnes (1) ou longueurs des arcs se rapportant aux colonnes (2) et (3)	R = 20m			R = 30m			R = 40m			R = 50m			R = 60m		
	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées pour des arcs égaux	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées pour des arcs égaux	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées pour des arcs égaux	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées pour des arcs égaux	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées pour des arcs égaux
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5m	0,63	4,95	0,62	0,42	4,98	0,42	0,31	4,99	0,31	0,25	4,99	0,25	0,21	4,99	0,21
10	2,68	9,59	2,45	1,72	9,82	1,65	1,27	9,90	1,24	1,01	9,93	1,00	0,84	9,95	0,83
15	6,77	13,63	5,37	4,02	14,38	3,67	2,91	14,62	2,78	2,30	14,78	2,23	1,91	14,84	1,87
20	20,00	16,83	9,19	7,64	18,55	6,42	5,36	19,18	4,90	4,17	19,47	3,95	3,43	19,63	3,30
25				13,42	22,21	9,83	8,78	23,40	7,56	6,70	23,97	6,12	5,46	24,28	5,13
30				30,00	25,24	13,79	13,54	27,27	10,73	10,00	28,23	8,73	8,04	28,77	7,35
35							20,64	30,70	14,36	14,29	32,21	11,76	11,27	33,05	9,92
40							40,00	33,66	18,39	20,00	35,87	15,17	15,28	37,10	12,85
45										28,21	39,17	18,92	20,31	40,90	16,10
50										50,00	42,07	22,99	26,83	44,41	19,66
60													60,00	50,49	27,58

Abscisses sur la tangente se rapportant aux colonnes (1) ou longueurs des arcs se rapportant aux colonnes (2) et (3)

5m	R = 70m			R = 80m			R = 90m			R = 100m			R = 200m		
	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	0,18	5,00	0,18	0,16	5,00	0,16	0,14	5,00	0,14	0,50	9,99	0,50	0,25	10,00	0,25
15	0,72	9,97	0,71	0,63	9,97	0,62	0,56	9,98	0,56						
20	1,63	14,89	1,60	1,42	14,91	1,40	1,26	14,93	1,25	2,02	19,87	1,99	1,00	19,97	0,99
25	2,92	19,73	2,84	2,55	19,79	2,49	2,25	19,84	2,21						
30	4,62	24,47	4,42	4,01	24,60	3,88	3,55	24,68	3,45	4,61	29,55	4,47	2,26	29,89	2,25
35	6,75	29,09	6,33	5,84	29,30	5,56	5,15	29,45	4,95						
40	9,38	33,56	8,57	8,06	33,89	7,54	7,09	34,12	6,72	8,35	38,94	7,89	4,04	39,73	3,99
45	12,55	37,86	11,12	10,72	38,35	9,79	9,38	38,70	8,74						
50	16,38	41,96	13,97	13,86	42,66	12,33	12,06	43,15	11,02	13,40	47,94	12,24	6,35	49,48	6 22
60	21,01	45,86	17,11	17,55	46,80	15,12	15,18	47,47	13,54	20,00	56,46	17,46	9,21	59,10	8,93
70	33,94	52,92	24,18	27,09	54,53	21,47	22,92	55,65	19,27	28,59	64,42	23,52	12,65	68,58	12,13
80	.	.	.	.	.	.	33,43	63,15	25,88	40,00	71,74	30,33	16,70	77,88	15,79
90	.	.	.	.	.	.	.	.	.	56,41	78,33	37,84	21,39	86,99	19,91
100	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100,00	84,15	45,97	26,80	95,89	24,48
110	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	104,54	29,50
120	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	112,93	34,93
130	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	121,04	40,78
140	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	128,84	47,03
150	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	136,33	53,66
160	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	143,47	60,66
170	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	150,26	68,00

Abscisses sur la tangente se rapportant aux colonnes (1) ou longueurs des arcs se rapportant aux colonnes (2) et (3)

	R = 300m			R = 400m			R = 500m			R = 600m			R = 700m		
	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10m	0,17	10,00	0,17	0,13	10,00	0,13	0,10	10,00	0,10	0,08	10,00	0,08	0,07	10,00	0,07
20	0,67	19,99	0,67	0,50	19,99	0,50	0,40	20,00	0,40	0,33	20,00	0,33	0,29	20,00	0,29
30	1,50	29,95	1,50	1,13	29,97	1,12	0,90	29,98	0,90	0,75	29,99	0,75	0,64	29,99	0,64
40	2,68	39,88	2,66	2,01	39,93	2,00	1,60	39,96	1,60	1,33	39,97	1,33	1,14	39,98	1,14
50	4,20	49,77	4,16	3,14	49,87	3,12	2,51	49,92	2,50	2,09	49,94	2,08	1,79	49,96	1,79
60	6,06	59,60	5,98	4,53	59,78	4,49	3,61	59,86	3,60	3,01	59,90	3,00	2,58	59,93	2,57
70	8,28	69,37	8,13	6,17	69,64	6,11	4,92	69,77	4,89	4,10	69,84	4,08	3,51	69,88	3,50
80	10,86	79,06	10,60	8,08	79,47	7,97	6,44	79,66	6,39	5,36	79,76	5,33	4,59	79,83	4,57
90	13,82	88,66	13,40	10,26	89,24	10,08	8,17	89,52	8,08	6,79	89,66	6,74	5,81	89,75	5,78
100	17,16	98,16	16,51	12,70	98,96	12,44	10,10	99,34	9,97	8,39	99,54	8,31	7,18	99,66	7,13
110	20,89	107,55	19,94	15,42	108,62	15,03	12,25	109,12	12,05	10,17	109,39	10,06	8,70	109,55	8,63
120	25,05	116,83	23,68	18,42	118,21	17,87	14,61	118,85	14,33	12,12	119,20	11,96	10,36	119,41	10,26
130	29,63	125,97	27,73	21,71	127,72	20,94	17,20	128,54	16,81	14,25	128,99	14,03	12,18	129,25	12,04
140	34,67	134,97	32,04	25,30	137,16	24,25	20,00	138,18	19,47	16,56	138,73	16,26	14,14	139,07	13,96
150	40,20	143,83	36,73	29,19	146,51	27,80	23,03	147,76	22,33	19,05	148,44	18,65	16,26	148,86	16,01
160	46,23	152,52	41,67	33,39	155,77	31,58	26,29	157,28	25,38	21,75	158,11	21,21	18,53	158,61	18,21
170	52,82	161,05	46,89	37,92	164,93	35,58	29,79	166,74	28,62	24,59	167,73	23,92	20,96	168,33	20,54
180	60,00	169,39	52,40	42,79	173,99	39,82	33,52	176,14	32,05	27,64	177,31	26,80	23,54	178,02	23,02
190	67,84	177,55	58,18	48,01	182,94	44,28	37,51	185,46	35,67	30,88	186,84	29,83	26,28	187,68	25,63
200	76,39	185,51	64,23	53,59	191,77	48,97	41,74	194,71	39,47	34,31	196,32	33,03	29,18	197,29	28,38

Abscisses sur la tangente se rapportant aux colonnes (2) ou longueurs des arcs se rapportant aux colonnes (2) et (3)

	R = 800m			R = 900m			R = 1000m			R = 1100m			R = 1200m		
	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses pour des arcs égaux	Ordonnées
10m	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
20	0,06	10,00	0,06	0,06	10,00	0,06	0,05	10,00	0,05	0,05	10,00	0,05	0,04	10,00	0,04
30	0,25	20,00	0,25	0,22	20,00	0,22	0,20	20,00	0,20	0,18	20,00	0,18	0,17	20,00	0,17
40	0,56	29,99	0,56	0,50	30,00	0,50	0,45	30,00	0,45	0,41	30,00	0,41	0,37	30,00	0,37
50	1,00	39,98	1,00	0,89	39,99	0,89	0,80	39,99	0,80	0,73	39,99	0,73	0,67	39,99	0,67
60	1,56	49,97	1,56	1,39	49,97	1,39	1,25	49,98	1,25	1,14	49,98	1,14	1,04	49,98	1,04
70	2,25	59,94	2,25	2,00	59,96	2,00	1,80	59,96	1,80	1,64	59,97	1,64	1,50	59,97	1,50
80	3,07	69,91	3,06	2,73	69,93	2,72	2,45	69,94	2,45	2,23	69,95	2,23	2,04	69,96	2,04
90	4,01	79,87	4,00	3,56	79,90	3,55	3,21	79,92	3,20	2,91	79,93	2,91	2,67	79,94	2,66
100	5,08	89,81	5,06	4,51	89,85	4,50	4,06	89,88	4,05	3,69	89,90	3,68	3,38	89,92	3,37
110	6,27	99,74	6,24	5,57	99,79	5,55	5,01	99,83	5,00	4,55	99,86	4,54	4,17	99,89	4,16
120	7,60	109,65	7,55	6,75	109,73	6,71	6,07	109,78	6,04	5,51	109,82	5,50	5,05	109,85	5,04
130	9,05	119,55	8,98	8,04	119,65	7,99	7,23	119,71	7,19	6,56	119,77	6,54	6,01	119,80	6,00
140	10,64	129,43	10,54	9,44	129,55	9,37	8,49	129,63	8,44	7,71	129,70	7,67	7,06	129,74	7,04
150	12,35	139,29	12,22	10,96	139,44	10,87	9,85	139,54	9,78	8,95	139,63	8,89	8,19	139,68	8,16
160	14,19	149,12	14,02	12,59	149,31	12,47	11,31	149,44	11,23	10,28	149,54	10,21	9,41	149,61	9,36
170	16,16	158,94	15,95	14,34	159,16	14,19	12,88	159,32	12,77	11,70	159,44	11,62	10,71	159,53	10,65
180	18,27	168,72	18,00	16,20	168,99	16,01	14,56	169,18	14,42	13,22	169,33	13,11	12,10	169,43	12,02
190	20,51	178,49	20,17	18,18	178,80	17,94	16,33	179,03	16,16	14,83	179,20	14,70	13,58	179,33	13,48
200	22,89	188,22	22,45	20,28	188,59	19,98	18,22	188,86	18,00	16,53	189,06	16,37	15,14	189,21	15,02
	25,40	197,92	24,87	22,50	198,36	22,13	20,20	198,67	19,93	18,33	198,90	18,13	16,78	199,07	16,63

Abscisses sur la tangente se rapportant aux colonnes (1) ou longueurs des arcs se rapportant aux colonnes (2) et (3)

	R = 1300m			R = 1400m			R = 1500m			R = 2000m		
	Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses / Ordonnées pour des arcs égaux		Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses / Ordonnées pour des arcs égaux		Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses / Ordonnées pour des arcs égaux		Ordonnées pour des abscisses égales	Abscisses / Ordonnées pour des arcs égaux	
10m	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
20	0,04	10,00	0,04	0,04	10,00	0,04	0,03	10,00	0,03	0,03	10,00	0,03
30	0,15	20,00	0,15	0,14	20,00	0,14	0,13	20,00	0,13	0,10	20,00	0,10
40	0,35	30,00	0,35	0,32	30,00	0,32	0,30	30,00	0,30	0,22	30,00	0,22
50	0,61	39,99	0,61	0,57	39,99	0,57	0,53	39,99	0,53	0,40	40,00	0,40
60	0,96	49,98	0,96	0,89	49,99	0,89	0,83	49,99	0,83	0,62	49,99	0,62
70	1,38	59,97	1,38	1,29	59,98	1,29	1,20	59,98	1,20	0,90	59,99	0,90
80	1,89	69,96	1,89	1,75	69,97	1,75	1,63	69,98	1,63	1,23	69,98	1,22
90	2,46	79,95	2,46	2,29	79,96	2,29	2,13	79,96	2,13	1,60	79,98	1,60
100	3,12	89,93	3,12	2,90	89,94	2,89	2,70	89,95	2,70	2,03	89,97	2,02
110	3,85	99,90	3,85	3,58	99,91	3,57	3,33	99,93	3,33	2,50	99,96	2,50
120	4,66	109,87	4,66	4,33	109,89	4,32	4,04	109,90	4,03	3,03	109,95	3,02
130	5,55	119,83	5,54	5,15	119,85	5,14	4,81	119,87	4,80	3,60	119,93	3,60
140	6,52	129,78	6,50	6,05	129,81	6,03	5,64	129,84	5,63	4,23	129,90	4,22
150	7,56	139,72	7,54	7,02	139,77	6,99	6,55	139,80	6,53	4,91	139,88	4,90
160	8,68	149,66	8,64	8,06	149,71	8,03	7,52	149,75	7,49	5,63	149,86	5,62
170	9,88	159,59	9,83	9,17	159,65	9,13	8,56	159,70	8,52	6,41	159,83	6,40
180	11,16	169,52	11,11	10,36	169,58	10,31	9,67	169,64	9,62	7,24	169,79	7,22
190	12,52	179,43	12,45	11,62	179,50	11,56	10,84	179,57	10,79	8,12	179,76	8,09
200	13,96	189,32	13,86	12,95	189,42	12,87	12,09	189,49	12,02	9,05	189,72	9,02
	15,48	199,21	15,36	14,35	199,32	14,26	13,39	199,41	13,31	10,03	199,66	9,99

TABLE PERMETTANT DE VÉRIFIER LES COURBES DE CHEMIN DE FER A L'AIDE DU CORDEAU

RAYONS des courbes	FLÈCHES pour 2 longueurs de rails de 5m,50	FLÈCHES pour 3 longueurs de rails de 5m,50	FLECHES pour 4 longueurs de rails de 5m,50	FLÈCHES pour 6 longueurs de rails de 5m,50	1/2 ARC pour une flèche de 1m,45 (largeur de la voie)
100	0,151	0,341	0,605	1,362	17,05
150	0,101	0,225	0,405	0,908	20,87
180	0,081	0,189	0,337	0,758	22,86
200	0,076	0,170	0,302	0,680	24,10
250	0,061	0,136	0,242	0,544	26,94
300	0,050	0,113	0,202	0,454	29,51
350	0,043	0,097	0,173	0,389	31,87
400	0,038	0,085	0,151	0,340	34,07
450	0,034	0,076	0,134	0,302	36,13
500	0,030	0,068	0,121	0,272	38,08
600	0,025	0,057	0,101	0,227	41,72
700	0,022	0,049	0,086	0,194	45,06
800	0,019	0,043	0,076	0,170	48,17
900	0,017	0,038	0,067	0,151	51,08
1.000	0,015	0,034	0,061	0,136	53,85
1.100	0,014	0,031	0,055	0,124	56,52
1.200	0,012	0,028	0,051	0,114	58,99
1.300	0,012	0,026	0,047	0,105	61,42
1 400	0,011	0,024	0,043	0,097	63,74
1.500	0,010	0,023	0,041	0,091	65,97
1.600	0,009	0,021	0,038	0,085	68,13
1.700	0,009	0,020	0,036	0,080	70,22
1.800	0,008	0,019	0,034	0,076	72,26
1.900	0,008	0,018	0,032	0,072	74,23
2.000	0,008	0,017	0,030	0,061	76,20
2.500	0,006	0,014	0,024	0,054	85,15
3.000	0,005	0,011	0,020	0,045	93,27
3.500	0,004	0,010	0,017	0,039	100,73
4.000	0,004	0,009	0,015	0,034	107,71
5.000	0,003	0,007	0,012	0,027	120,48

Nota. — 1m,45 est la largeur de la voie du chemin de fer d'Orléans. — 1m,445 est celle du chemin de fer du Midi. Dans les courbes de faible rayon cette largeur est de 1m,46 à la Compagnie d'Orléans et de 1m,455 à la Compagnie du Midi.

Ellipse.

TRACER UNE ELLIPSE DONT ON DONNE LES 2 AXES : 2 *a* ET 2 *b*.

De A comme centre on décrit deux arcs de cercle avec *a* pour rayon qui coupent le grand axe B C aux foyers *f* et *f'*.

Fig. 36

L'ellipse se tracera ensuite au moyen d'une ficelle fixée aux deux points *f* et *f'* et tendue au moyen d'un stylet placé en M ; la longueur de la ficelle étant égale à la longueur du grand axe B C = 2 *a*.

Ce tracé repose sur la définition même de cette courbe :

$$fM + Mf' = BC = 2a.$$

Parabole.

TRACÉ PAR TANGENTES SUCESSIVES

Dans les travaux de chemins de fer, on peut avoir à raccorder, en plan, le pied d'un perré BP avec un parement d'ouvrage d'art AC. On fait, dans ce cas, quelquefois usage d'un arc parabolique tangent aux deux directions.

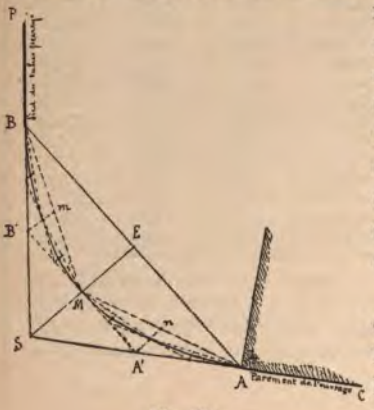


Fig. 37

On mène BA, on en prend le milieu E, le point M au milieu de SE est un point de la courbe.

La ligne A' B' joignant le milieu des deux côtés SA, S B est tangente en M à la parabole ; elle jouit des mêmes propriétés que les deux tangentes SB, SA. Si donc on mène MB, MA, qu'on en prenne les milieux m, n, et qu'on les joigne aux points B', A', les milieux des lignes B' m, A' n seront des points de la courbe. On pourra obtenir d'autres points en prenant les milieux de BB', B'M, MA', A'A.

Tracé par abscisses et ordonnées sur la tangente

Soient deux alignements TL, T'L' à raccorder aux points T, T' par un arc parabolique dont la flèche f est donnée.

$$TM' = T'M' = \frac{1}{2} \text{ corde } c.$$

On prendra les abscisses M A $= x$ à partir de M sur la tangente en M parallèle à TT' et on mènera le ordonnées AB $= y$ parallèles à MM'.

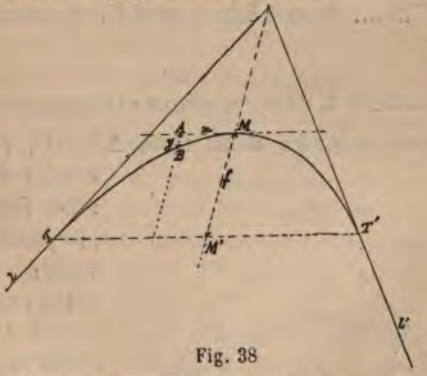


Fig. 38

x, y, f et la corde TT' $= c$ sont liées par la relation.

$$y = 4 \times \frac{x^2}{c^2} \times f$$

qui permettra de tracer la courbe par points.

TRACÉ PAR INTERSECTIONS DE DROITES

Les deux alignements TL, T'L' sont à raccorder aux points T, T' au moyen d'un arc parabolique. On divisera les tangentes AT, AT' en un même nombre de parties égales et l'on joindra les points de division

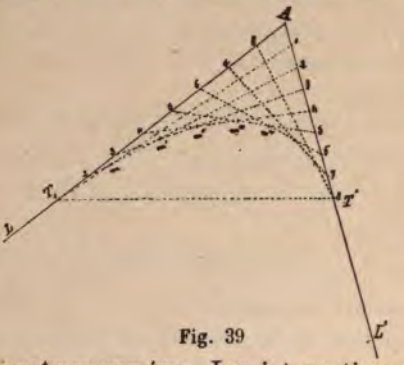


Fig. 39

portant les mêmes numéros. Les intersections m m', m'', m'''..... de ces lignes seront des points de la courbe.

Courbe à flèches proportionnelles.

On peut raccorder deux lignes AB, AC, par une courbe satisfaisant l'œil, par le procédé suivant :

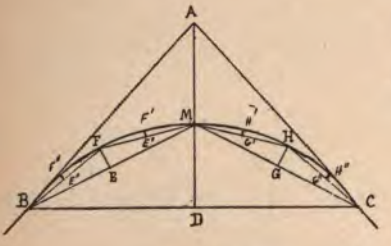


Fig. 40

On prend :

AB = AC.

M, milieu de AD, joignant le sommet A au milieu de BC est un point de la

courbe. On mène MB, MC, puis on élève les perpendiculaires EF, GH, par leurs milieux, et l'on prend EF = GH = 1/4 MD.

Les points F, H sont des points de la courbe. On continuera en prenant toujours le 1/4 de la flèche précédente.

$$E'F' = E''F'' = G'H' = G''H'' = 1/4\,EF = 1/4\,GH.$$

Raccordements paraboliques des courbes de Chemins de fer.

Dans le tracé d'un Chemin de fer, il convient d'avoir égard au dévers pour l'implantation des ouvrages d'art situés sur les courbes.

Le dévers est calculé d'après la formule :

$$D = \frac{V^2 l}{Rg}.$$

V = vitesse par seconde ;

l = écartement des rails d'axe en axe ;

R = rayon de la courbe ;

g = intensité de la pesanteur = 9,8088.

Le dévers étant inversement proportionnel au rayon, le point de tangence de l'arc de cercle avec l'alignement comporte, pour la courbe, un dévers d'une valeur finie, et pour l'alignement droit un dévers nul.

Un raccordement avec une courbe dont le rayon de courbure augmente jusqu'à l'alignement, où il devient infini, s'impose donc (fig. 41).

On obtient ce résultat, au moyen d'un arc parabolique pris moitié sur l'arc de cercle à raccorder, et moitié sur la tangente.

Ce raccordement exige que le cercle soit déplacé parallèlement à lui-même vers son centre d'une quantité d (fig. 42).

L'équation de la parabole est (Mémoire de M. de Nordling) :

$$y = \frac{x^3}{6P} \qquad P = \frac{V^2 l}{ig}$$

i = pente uniforme rachetant les dévers dans l'étendue de la parabole.

Les propriétés de cette parabole sont les suivantes :

1° Ordonnées proportionnelles aux cubes des abscisses ;

2° Sous-tangente = 1/3 de l'abscisse ;

3° Rayon de courbure, infini à l'origine, décroît en raison inverse des abscisses.

p étant la longueur totale du raccordement parabolique :

$$p = \frac{P}{R} \qquad d = \frac{p^2}{24R}.$$

La courbe de raccordement a son origine sur l'alignement à 1/2 p en deça de l'ancien point de tangence.

Le déplacement latéral, nul à l'origine du raccordement, croît ensuite pour devenir 1/2 d à l'ancien point de tangence, et d à 1/2 p au-delà de ce dernier point, c'est-à-dire à l'extrémité du raccordement.

Si l'on donne à la déclivité du rail extérieur i la valeur uniforme de $0^m,002$ par mètre sur toute la longueur de la parabole, si de plus $l = 1^m,51$, on aura, en supposant une vitesse de 100 kilomètres à l'heure :

$$D = \frac{120}{R} \qquad P = 60.000 \qquad p = \frac{60.000}{R}.$$

Le tableau suivant donne les valeurs de D, p et d, pour des courbes de 800 à 3.000 mètres. Il montre que les courbes inférieures à 800 mètres de rayon devraient avoir, pour la vitesse de 100 kilomètres à l'heure, un dévers supérieur à $0^m,15$.

RAYONS de l'arc de cercle à raccorder R =	DÉVERS correspondant à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure $D = \frac{120}{R}$	LONGUEURS du raccordement parabolique $p = \frac{60.000}{R}$	DÉPLACEMENT latéral de l'arc de cercle $d = \frac{p^2}{24R}$
800m	0,150	75m	0,293
900m	0,133	66m,67	0,206
1000m	0,120	60m	0,150
1200m	0,100	50m	0,086
1500m	0,080	40m	0,044
2000m	0,060	30m	0,019
3000m	0,040	20m	0,006

La parabole de la figure 41 servira pour tous les raccordements quels que soient les rayons à la condition que la vitesse soit de 100 kilomètres. Si l'on fait varier cette vitesse, suivant les rayons, il est évident que P devient variable également, ainsi que l'équation $y = \frac{x^3}{6P}$. Il y aura donc autant de paraboles que de vitesses différentes.

TRACÉ DE LA PARABOLE $y = \frac{x^3}{6P} = \frac{x^3}{6 \times 60.000}$ POUR UNE VITESSE DE 100 KILOMÈTRES A L'HEURE

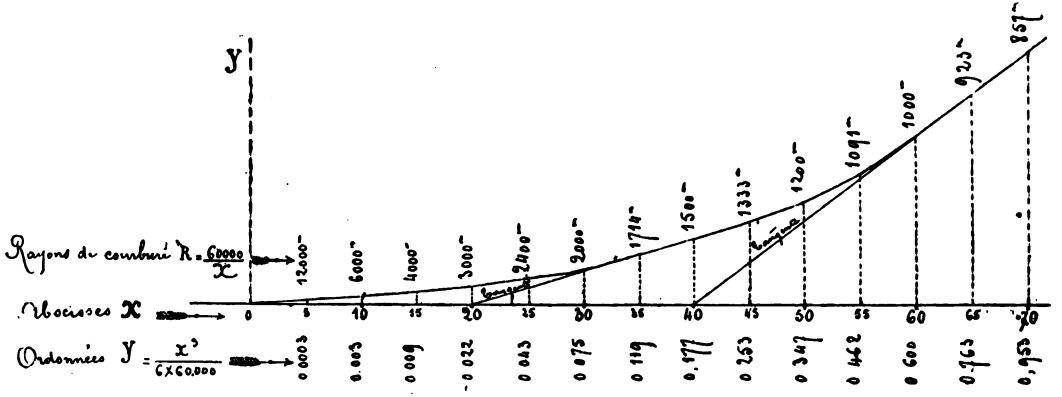


Fig. 41

Pour $x = 1/2\,p$, $y = 1/2\,d$
$x = p$, $y = 4\,d$
} Consulter le tableau ci-dessus.

Tracé du Raccordement parabolique avec un arc de cercle

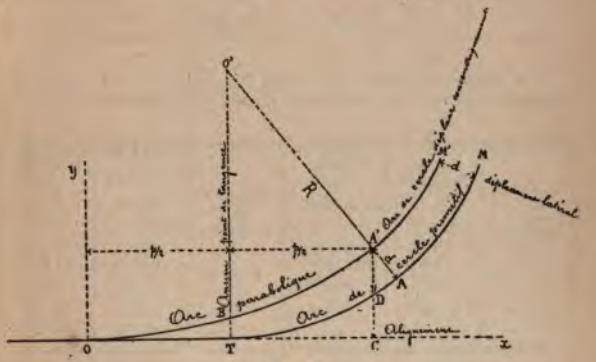


Fig. 42

Ox = Alignement donné.
TM = Arc de cercle de rayon R tangent en T à l'alignement.
O'A = R = rayon primitif.
O'A' = R — d = rayon de l'arc déplacé concentriquement.
A'M' = Arc de cercle déplacé latéralement de la quantité d.
OA' = Arc de parabole tangent en O à l'alignement et en A' à l'arc de cercle déplacé = p.

La faible étendue de ces arcs permet d'écrire :

$$AA' = A'D = 2\,BT = d.$$
$$A'C = y = 4\,d.$$
$$OB = OT = BA' = TA = TC = \frac{p}{2}.$$

TABLE DONNANT LA LONGUEUR DES ARCS ET LA SURFACE DES SEGMENTS, CONNAISSANT LA CORDE ET LA FLÈCHE

Cette table est aussi d'un usage fréquent dans les métrés des ouvrages d'art.

Rapport de la flèche à la corde $= \frac{f}{c}$	Rapport de la longueur de l'arc à la corde $= \frac{\text{arc}}{c}$	Rapport de la surface du segment au carré de la corde $= \frac{S}{c^2}$	Rapport de la flèche à la corde $= \frac{f}{c}$	Rapport de la longueur de l'arc à la corde $= \frac{\text{arc}}{c}$	Rapport de la surface du segment au carré de la corde $= \frac{S}{c^2}$
0,005	»	0,0033	0,130	1,04447	0,0879
0,010	»	0,0067	0,135	1,04792	0,0913
0,015	»	0,0100	0,140	1,05147	0,0948
0,020	»	0,0133	0,145	1,05516	0,0983
0,025	»	0,0167	0,150	1,05896	0,1018
0,030	»	0,0200	0,155	1,06288	0,1053
0,035	»	0,0234	0,160	1,06693	0,1088
0,040	»	0,0267	0,165	1,07109	0,1124
0,045	»	0,0301	0,170	1,07537	0,1159
0,050	1,006653	0,0334	0,175	1,07977	0,1195
0,055	1,008047	0,0368	0,180	1,08428	0,1231
0,060	1,009572	0,0401	0,185	1,08890	0,1267
0,065	1,011229	0,0435	0,190	1,09365	0,1302
0,070	1,013016	0,0469	0,195	1,09850	0.1339
0,075	1,014933	0,0502	0,200	1,10348	0,1375
0,080	1,016980	0,0536	0,205	1,10855	0,1412
0,085	1,019157	0,0570	0,210	1,11374	0,1448
0,090	1,021462	0,0604	0,215	1,11904	0,1485
0,095	1,023896	0,0638	0,220	1,12445	0.1522
0,100	1,026457	0,0672	0,225	1,12997	0,1559
0,105	1,02914	0,0707	0,230	1,13557	0,1596
0,110	1,03196	0,0741	0,235	1,14136	0,1634
0,115	1,03490	0,0775	0,240	1,14714	0,1671
0,120	1,03797	0.0810	0,245	1,15308	0,1709
0,125	1,04116	0,0844	0,250	1,15912	0,1747

Rapport de la flèche à la corde $= \frac{f}{c}$	Rapport de la longueur de l'arc à la corde $= \frac{\text{arc}}{c}$	Rapport de la surface du segment au carré de la corde $= \frac{S}{c^2}$	Rapport de la flèche à la corde $= \frac{f}{c}$	Rapport de la longueur de l'arc à la corde $= \frac{\text{arc}}{c}$	Rapport de la surface du segment au carré de la corde $= \frac{S}{c^2}$
0,255	1,16526	0,1786	0,380	1,34899	0,2806
0,260	1,17150	0,1824	0,385	1,35744	0,2849
0,265	1,17784	0,1863	0,390	1,36596	0,2893
0,270	1,18428	0,1901	0,395	1,37455	0,2938
0 275	1,19082	0,1940	0,400	1,38322	0,2982
0,280	1,19743	0,1980	0,405	1,39196	0,3027
0,285	1,20419	0,2019	0,410	1,40077	0,3072
0,290	1,21202	0,2058	0,415	1,40966	0,3117
0,295	1,21794	0,2098	0,420	1,41861	0,3162
0,300	1,22495	0,2137	0,425	1,42764	0 3208
0,305	1,23205	0,2177	0,430	1,43673	0,3254
0,310	1,23925	0 2218	0,435	1,44589	0,3301
0,315	1,24654	0,2258	0,440	1,45512	0,3347
0,320	1,25391	0,2299	0,445	1,46441	0,3394
0,325	1,26137	0,2340	0,450	1,47377	0,3441
0,330	1,26892	0,2381	0,455	1,48330	0,3489
0,335	1,27656	0,2423	0,460	1,49269	0,3536
0,340	1,28428	0,2464	0,465	1,50224	0,3584
0,345	1,29209	0,2506	0,470	1,51185	0,3632
0,350	1,29997	0,2548	0,475	1,52152	0,3681
0,355	1,30794	0,2591	0,480	1,53126	0,3729
0,360	1,31599	0,2633	0,485	1,54106	0,3778
0,365	1,32413	0,2676	0,490	1,55090	0,3828
0 370	1,33234	0,2719	0,495	1,56083	0,3877
0,375	1,34063	0,2762	0,500	1,57079	0,3927

Application I. — Déterminer la longueur AMB et la surface AM M'B du radier d'un passage inférieur de chemin de fer, sachant que la corde AB = 4m,50 et la flèche MM' = 0m,10 ?

$$\frac{f}{c} = \frac{0{,}10}{4{,}50} = 0{,}022.$$

Longueur AMB = 4m,50.

Pour avoir la surface du segment on opérera par interpolation.

Le rapport $\frac{f}{c} = 0{,}022$ est compris entre 0,020 et 0,025 auquel correspondent des rapports $\frac{S}{c^2}$ égaux respectivement à 0,0133 et 0,0167.

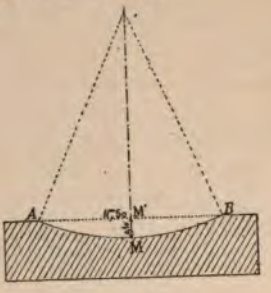


Fig. 43

$$\text{Rapport } \frac{S}{c^2} \text{ cherché} = 0{,}0133 + (0{,}0167 - 0{,}0133) \times \frac{0{,}022 - 0{,}020}{0{,}025 - 0{,}020}$$
$$= 0{,}0133 + 0{,}0034 \times \frac{2}{5}$$
$$= 0{,}0133 + 0{,}00136$$
$$= 0{,}01466.$$
$$\text{Surface cherchée} = 0{,}01466 \times \overline{4{,}50}^2 = 0^{m2},2969.$$

Application II. — Déterminer le développement d'une voûte surbaissée au $\frac{1}{5}$ et de 10m,00 d'ouverture, ainsi que la surface du segment correspondant ?

Fig. 44

$$\frac{f}{c} = \frac{1}{5} = 0{,}20.$$

La table donne :

$$\text{Développement} = 1{,}10348 \times 10 = 11^{m},0348$$
$$\text{Surface segment} = 0{,}1375 \times \overline{10}^2 = \overline{13^{m2}},75$$

On aurait opéré par interpolation dans le cas où le rapport $\frac{f}{c}$ n'aurait pas figuré dans la première colonne de la table.

GÉODÉSIE

La représentation d'une zone de terrain exige la connaissance des trois coordonnées de chaque point de l'espace, ce qui nécessite la mesure des *longueurs*, des *angles* et des *cotes de niveau*.

Les deux premières opérations donnent le levé en plan, et la troisième le levé en élévation ou nivellement.

Mesure des longueurs.

On se sert de la *chaîne* ou de la *stadia*.

Stadia. — Elle comprend une lunette portant 2 réticules horizontaux et une mire graduée sur laquelle se lisent les longueurs.

Mesure des angles.

On emploie : l'équerre d'arpenteur, le pantomètre ou goniomètre, le graphomètre, le théodolite ou cercle répétiteur, la boussole, l'octant et sextant de réflexion.

Equerre d'arpenteur : Ne peut être employée que pour des multiples de 45°.

Est d'un emploi commode pour le tracé des alignements et des perpendiculaires sur le terrain.

Pantomètre ou Goniomètre : Donne les angles avec une approximation suffisante pour un avant-projet où il faut opérer rapidement. Il porte un vernier, et est souvent muni d'une lunette.

Graphomètre : Est à pinnules ou à lunette.

Théodolite ou Cercle répétiteur : Porte 1 ou 2 lunettes. Très employé sur les travaux. Muni d'un

vernier permettant d'obtenir les angles avec une grande approximation en se servant d'une loupe pour la lecture.

Boussole : Moins précise que le graphomètre, mais d'un bon usage, à cause de la rapidité des opérations. Porte 1 lunette et 1 niveau.

Octant et sextant de réflexion : Basés sur la réflexion des miroirs.

Vernier.

C'est l'appendice indispensable des instruments de mesure de précision pour les angles comme pour les longueurs.

Application du vernier au théodolite : On supposera que neuf divisions du plateau fixe constituent la longueur du vernier et que cette longueur a été divisée en dix parties égales. Les zéros des deux plateaux sont mis en coïncidence à la première ligne de visée.

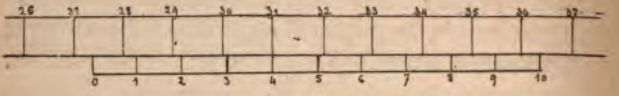


Fig. 45

On fait décrire au plateau mobile portant le vernier et la lunette un certain arc pour que celle-ci arrive à la deuxième ligne de visée. Dans cette position le zéro du vernier se trouve être, par exemple, entre les 27 et 28e divisions.

On cherchera à la loupe le trait du vernier qui coïncidera avec un trait du plateau fixe ou qui s'en rapprochera le plus. Si c'est le n° 4 on lira : 27 div. $+ \frac{4}{10}$

Ce sera l'angle exact si les deux traits coïncident exactement (fig. 45).

On aura l'angle avec une approximation de $\frac{1}{2 \times 10}$ de division du plateau fixe, s'il n'y a pas coïncidence parfaite, et si le trait n° 4 du vernier est celui qui est le plus rapproché des traits du plateau fixe (fig. 46).

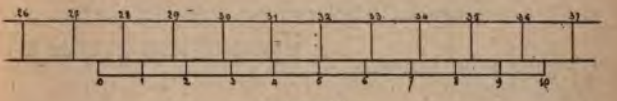


Fig. 46

Si, au lieu de 9 divisions pour constituer 10 divisions du vernier, on généralise en prenant n divisions pour faire $(n+1)$ divisions du vernier, on lira dans chacun des cas :

1er CAS (fig. 45) = 27 divisions $+ \frac{4}{(n+1)}$ de division, mesure exacte.

2e CAS (fig. 46) = 27 divisions $+ \frac{4}{(n+1)}$ de division à $\frac{1}{2(n+1)}$

de division près, si le trait n° 4 est plus rapproché du n° 31, que le trait n° 5 du trait n° 32.

On lirait : 27 divisions $+ \frac{5}{(n+1)}$ de division, à $\frac{1}{2(n+1)}$ de division près, si le trait n° 5 était plus rapproché du trait n° 32, que le trait n° 4 du trait n° 31.

Exemple : Les divisions du limbe d'un théodolite sont des tiers de degré valant, par suite, 20 minutes ; le vernier comprend 30 divisions représentant ensemble 29 tiers de degré.

(Fig. 45) 27 divisions $+ \frac{4}{30}$ de division = 9° 2' 40"

(Fig. 46) 27 divisions $+ \frac{4}{30}$ de division = 9° 2' 40"

avec une approximation de :

$$\frac{20'}{2\times 30}=\frac{20\times 60''}{60}=20''$$

si le trait n° 4 est le plus rapproché; ou bien

$$27 \text{ divisions} + \frac{5}{30} \text{ de division} = 9°3'20'',$$

avec une approximation de 20", si le trait n° 5 est le plus rapproché.

Si les traits n^{os} 4 et 5 sont à égale distance des traits n° 31 et 32, l'angle cherché sera la moyenne des deux mesures indiquées, ou 9°3'.

Levé à la planchette.

On se propose de rapporter un plan de terrain à une échelle donnée. On se sert de la planchette sur laquelle se trouve collée une feuille de papier à dessin.

1° *Pour mettre en station*, la surface doit être tenue horizontale au moyen d'un niveau à bulle d'air.

2° *L'Orientation* doit être donnée à l'aide d'une boussole. La planchette doit toujours rester parallèle à elle-même dans chacune de ses positions.

3° *Le sommet de l'angle* que l'on veut tracer sur le papier doit être sur la verticale du sommet du terrain.

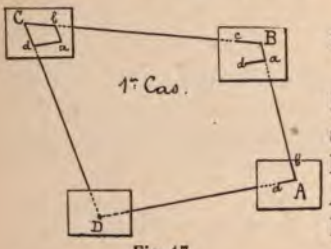


Fig. 47

Application : Levé d'un polygone ABCD.

1er *Cas.* — Mettre la planchette en station au sommet A; tracer la direction des côtés AD, AB; prendre à l'échelle la longueur A*b*, puis se mettre en station au sommet B, de façon que la verticale du point *b*

du dessin tombe sur le sommet B du terrain ; prendre à l'échelle la longueur B c, et ainsi de suite pour chacun des sommets.

Comme vérification, les côtés CD et DA devront, sans avoir été mesurés sur le terrain au préalable, se trouver représentés à l'échelle du dessin par les longueurs cd et da du levé.

2e *Cas.* — Se mettre en station à l'intérieur du polygone, si possible, et de là tracer la direction de tous les sommets. On mesurera les distances du point de station aux différents sommets, et on les rapportera à l'échelle du dessin.

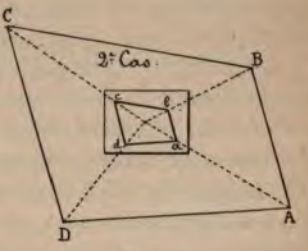


Fig. 48

3e *Cas.* — On se contentera de mesurer une base MM'. On se mettra successivement en station aux points M, M' d'où l'on relèvera les directions des sommets. On prendra mM' à l'échelle, et les intersections des différentes lignes de visée du point M' avec les parallèles à MC, MD, MB, MA détermineront le contour du polygone.

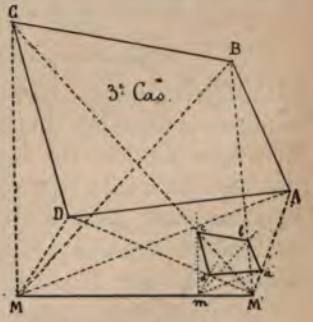


Fig. 49

La base pour simplification, pourra être un côté du polygone à lever.

Nivellement.

On emploie deux sortes de niveaux sur le terrain : le *niveau d'eau* et le *niveau à bulle d'air et à lunette*.

Niveau d'eau.

Employé pour les petits nivellements, dans les terrains accidentés, et pour lesquels une grande précision n'est pas nécessaire.

On opèrera dans de bonnes conditions si les deux fioles ont un *diamètre intérieur égal*, et si la distance de la mire au niveau ne dépasse pas 20 mètres.

Niveaux a bulle d'air et a lunette

On en distingue deux classes principales :

1° *Niveau à bulle indépendante* (dernier perfectionnement du niveau d'Egault).

2° *Niveau-cercle ou niveau Lenoir.*

On obtient la cote d'un point au moyen de ces deux sortes de niveaux par la moyenne de deux lectures.

Mise en station du niveau a bulle indépendante (Type d'Egault)

(Le niveau surmonte la lunette).

1° *Régler la bulle d'air.*— On amène tout l'appareil dans la direction d'une vis calante et on le fixe dans cette position. On appelle la bulle entre ses repères au moyen de la vis calante, puis on retourne le niveau bout pour bout. Si la bulle revient entre ses repères, le niveau est réglé ; sinon on corrige l'écart, 1/2 à l'aide de la vis calante, 1/2 à l'aide de la vis du niveau. On recommencera jusqu'à ce que la bulle ne se déplace plus après le retournement.

2° *Rendre l'axe du pivot perpendiculaire à l'horizontale de la bulle.* — On fait tourner tout l'ins-

trument de 180° autour de son axe de rotation. On corrige la moitié du déplacement de la bulle avec la vis calante, et l'autre moitié avec la vis verticale renversée agissant sur la partie supérieure de l'instrument. On répète l'opération jusqu'à ce que le retournement de 180° de l'instrument ne produise plus le déplacement de la bulle.

3° *Rendre l'axe du pivot vertical.* — On dirige la lunette parallèlement à la ligne qui passe par deux vis calantes et l'on appelle la bulle entre ses repères à l'aide de ces deux vis, en les manœuvrant simultanément et en sens contraire. On fait tourner le tout de 90° de manière à amener la lunette dans la direction de la troisième vis calante sur laquelle on agit pour amener la bulle entre ses repères. Cette opération répétée plusieurs fois assure la verticalité de l'axe.

Si, au cours du nivellement, la bulle subissait quelques déplacements, une fois ces opérations terminées, il ne faudrait la ramener entre ses repères qu'à l'aide de la vis verticale renversée qui agit sur la partie supérieure de l'instrument, sans le secours des vis calantes.

4° *Rendre un fil horizontal.* — On fixe un point et on fait tourner la lunette sur elle-même. On rectifie la position du fil au moyen des vis contre lesquelles viennent buter les taquets.

5° *Centrer la lunette par rapport au fil horizontal.* — La lunette tournée autour de son axe de 180°, un même point doit se trouver sur le fil; sinon, il faut déplacer le fil horizontal, en agissant sur le réticule à l'aide de la vis que porte la lunette, de manière à corriger la moitié de l'écart observé.

Si le réticule est muni de deux vis, il faut desserrer l'une avant de serrer l'autre.

Les lunettes sont généralement munies de fils verticaux qui peuvent permettre de se servir de l'instrument comme *Stadia.*

Cet instrument est disposé de telle sorte que pour opérer, *la lunette ne doit jamais être enlevée ni retournée bout pour bout.*

Manière d'opérer avec un niveau a bulle indépendante non réglé

On prend une première cote correspondant à une position quelconque de la lunette et du niveau, après avoir, au préalable, appelé la bulle entre ses repères.

On retourne ensuite la bulle bout pour bout, on fait tourner la lunette de 180° autour de son axe de figure et on rappelle la bulle à l'aide de la vis verticale renversée qui agit sur la partie supérieure de l'instrument. La moyenne des deux cotes est la *cote cherchée.*

Mise en station du niveau-cercle ou niveau Lenoir

La lunette peut glisser sur un plateau sur lequel elle repose. Un niveau à bulle repose sur la lunette.

1° *Rendre les axes du niveau et de la lunette parallèles au plateau.* — Pour cela, on amène la bulle entre ses repères, après avoir mis la lunettte parallèlement à deux vis calantes, puis dans une position perpendiculaire.

2° *Centrage de la lunette.* — Se fait comme pour le niveau d'Egault.

Pour se servir de ce niveau, on tourne tout l'appareil de façon à amener la lunette dans la direction de deux vis calantes, à l'aide desquelles la bulle est amenée entre ses repères. Puis on tourne le tout à 90°, et on ramène la bulle entre ses repères en agissant sur la

troisième vis calante seule. Ces deux opérations sont répétées jusqu'à ce que la bulle demeure invariable dans les deux positions perpendiculaires.

Pour prendre une deuxième cote avec cet appareil, on fait faire une demi-révolution à la lunette, on tourne le niveau bout pour bout, et on vise de nouveau la mire.

On opère de même avec le niveau d'Egault.

Distance maxima a observer dans un nivellement

Pour opérer dans de bonnes conditions, avec des niveaux à lunette, sans avoir à craindre l'influence de la rotondité de la terre et de la réfraction, la distance entre la mire et la lunette ne doit pas dépasser 100 mètres.

Principe. — La différence de niveau entre deux points est égale à la différence entre la somme des coups *avant*, et la somme des coups *arrière* compris entre ces deux points.

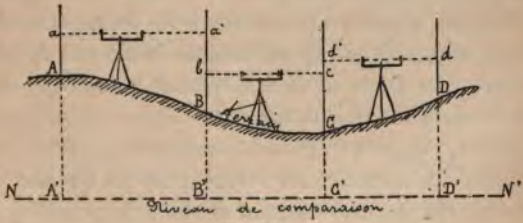


Fig. 50

Connaissant la cote du repère A = AA', on a nivelé les points B, C, D, en faisant station entre ces quatre points pris deux à deux. On aura :

$$AA' - DD' = Ba' + Cc + Dd - (Aa + Bb + Cd')$$

ce qu'il est facile de déduire des égalités suivantes :

$AA' - BB' = Ba' - Aa$, $BB' - CC' = Cc - Bb$, $CC' - DD' = Dd - Cd'$.

Niveau de pente

Il sert à déterminer la pente d'un terrain.

Il comprend deux pinnules verticales espacées de 1 mètre, l'une servant d'oculaire, et l'autre portant un crin au même niveau que celui de l'oculaire, et un autre pouvant se déplacer pour marquer la pente d'après une graduation.

Tachéomètre

Cet instrument résulte de la combinaison des instruments précédents.

Il permet à la fois de lever les plans et de faire les nivellements ; par suite, d'opérer rapidement.

Application à l'Étude d'un tracé de Chemin de fer.

La carte d'État-Major permettra de se faire une première idée générale sur l'ensemble du tracé, et d'en concevoir les grandes lignes. On essaiera, dans l'avant-projet, de réduire au minimum les terrassements, en rapprochant l'axe le plus possible de la *ligne de pente*, c'est-à-dire d'une ligne sur laquelle les cotes de déblai et de remblai seraient nulles.

On appliquera ce premier tracé sur le terrain, et les angles des alignements seront mesurés au moyen du théodolite. Ce tracé servira de base d'opération pour le levé des particularités importantes qui se rencontreront à proximité, telles que : fermes, ruisseaux, etc. On en fera le nivellement en long, puis on lèvera des profils en travers aux points où la conformation du terrain le demandera; on dressera ensuite un plan coté détaillé, avec courbes de niveau représentant la zone de terrain en plan et en relief.

L'étude de ce plan coté permettra d'arrêter définitivement en plan l'axe du chemin de fer projeté, et la ligne rouge du profil en long.

Le nouvel axe sera ensuite implanté sur le terrain ; les angles, dont on aura repéré les sommets, seront mesurés avec précision ; les courbes seront ensuite tracées ; puis se fera le piquetage, aussi exact que possible de l'axe. Après un chainage soigné, on entreprendra le nivellement en long au niveau à lunette, en s'aidant des repères placés dans le parcours sur les plinthes des ponts, les soubassements, les bornes, etc.

Ce nivellement définitif servira à dresser un nouveau profil en long sur lequel on appliquera la ligne rouge de la plate-forme. Ce profil en long sera accompagné de profils en travers levés aux piquets, et s'étendant de l'axe à environ 30 mètres de chaque côté, sur lesquels on représentera le profil du chemin de fer pour pouvoir déterminer exactement les cubes des terrassements qui devront servir à l'adjudication. Les ouvrages d'art, dérivations de rivières, déviations de chemins, feront l'objet de levés de plans cotés spéciaux détaillés permettant d'en arrêter l'étude complète.

Pour le tracé d'un chemin de fer, les instruments indispensables seront les suivants : chaînes à ruban, équerres d'arpenteur, goniomètre, cercle répétiteur, niveau à lunette.

Il est également nécessaire de porter sur soi des tables donnant les éléments du tracé des courbes, afin de pouvoir opérer rapidement.

L'opérateur fera bien de se vérifier souvent, de refermer de temps à autre son nivellement sur les repères rencontrés dans la zone explorée.

Une fois les cotes du carnet inscrites sur le plan, les points de passage des courbes s'obtiendront graphique-

ment en faisant usage de papier quadrillé où les longueurs proportionnelles se trouveront facilement par la considération des triangles semblables.

Exemple. — Deux points espacés de 7 mètres ont pour cotes respectives 27,72 et 28,32. Trouver à quelle distance du point le plus élevé passera la courbe de 28,00.

Le triangle de l'espace sera représenté par *o*AB, *o*A étant pris à l'échelle du dessin, *o*B à une échelle quelconque.

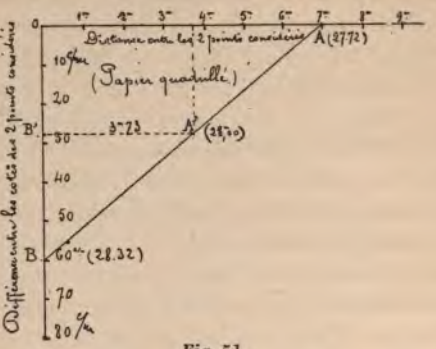


Fig. 51

La différence entre 28,00 et 28,32 = 32 centimètres se prendra à partir de B, et on lira de suite sur l'horizontale *o*A la longueur B'A' = 3^{m},73.

Il est évident qu'on peut arriver au même résultat en disposant les triangles semblables d'une autre façon ; ce sera laissé au choix du dessinateur.

GÉOMÉTRIE DANS L'ESPACE

Polyèdres.

ANGLES DES POLYÈDRES : Angles *plans*, angles *dièdres*.

Principes. — 1° La somme des angles plans d'un angle polyèdre convexe est < 4 droits.

2° La somme des angles dièdres d'un trièdre est comprise entre 2 droits et 6 droits.

Ligne de plus grande pente. — C'est la ligne que suit une bille abandonnée sur un plan incliné.

L'angle de cette ligne avec le plan horizontal représente l'inclinaison du plan. Cet angle est le plus grand des angles de toutes les lignes situées dans le plan incliné avec le plan horizontal.

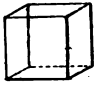
PROPRIÉTÉS DES POLYÈDRES

1° Un tronc de prisme triangulaire est égal à trois pyramides triangulaires ayant pour base commune l'une des bases du tronc, et pour sommets respectifs les trois sommets de l'autre base.

2° Les surfaces de deux pyramides semblables sont entre elles comme les carrés de deux arêtes homologues.

3° Les volumes de deux polyèdres semblables sont entre eux comme les cubes de leurs arêtes homologues.

BLEAU DES SURFACES ET VOLUMES DES POLYÈDRES RÉGULIERS EN FONCTION DE L'ARÊTE C

DÉSIGNATION des Polyèdres	nombre des faces	SURFACE d'une face	SURFACE totale	VOLUME	RENSEIGNEMENTS DIVERS
Tétraèdre	4 triangles.	$0{,}43301 \times C^2$	$1{,}73205 \times C^2$	$0{,}11785 \times C^3$	Fig. 52
Hexaèdre ou cube	6 carrés	$1 \times C^2$	$6 \times C^2$	$1 \times C^3$	Fig. 53 
Octaèdre	8 triangles.	$0{,}43301 \times C^2$	$3{,}46410 \times C^2$	$0{,}47141 \times C^3$	Fig. 54
Dodécaèdre	12 pentagones.	$1{,}72048 \times C^2$	$20{,}64578 \times C^2$	$7{,}66312 \times C^3$	Fig. 55
Icosaèdre	20 triangles	$0{,}43301 \times C^2$	$8{,}66025 \times C^2$	$2{,}18170 \times C^3$	Fig. 56

Volumes des polyèdres.

Pyramide.	$V = {}^1/_3 B \times H$.
Tétraèdre régulier . .	$V = \frac{C^3\sqrt{2}}{12}$ (C étant l'arête).
Tronc de pyramides à bases parallèles. .	$V = {}^1/_3 H \left(B + b + \sqrt{B \times b}\right)$
Prisme	$V = B \times H$.
Tronc de prisme triangulaire.	(1) $V = {}^1/_3 B (H + H_1 + H_2)$. Se reporter à la propriété n° 1 ci-dessus.
	(2) Le volume est encore égal à la section droite multipliée par le tiers de la somme de ses 3 arêtes.
Tronc de prisme quelconque.	On le décompose en troncs de prismes triangulaires dont on sait calculer le volume.

Corps ronds.

Sections coniques. — La section d'un cône par un plan est une ellipse, une parabole ou une hyperbole, suivant la position de ce plan.

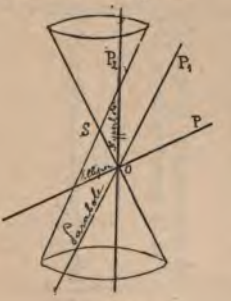


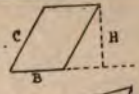
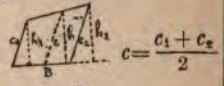
Fig. 57

P *quelconque* donne une ellipse ;

P_1 *parallèle à une génératrice* donne une parabole ;

P_2 *coupant les deux nappes du cône* donne une hyperbole.

Tableau des Surfaces et Volumes des Corps ronds

DÉSIGNATION des corps	SURFACES CONVEXES	VOLUMES	RENSEIGNEMENTS DIVERS
Cylindre . . .	Développement de la base $\times$ H ou de la section droite $\times$ C	B $\times$ H	Fig. 58 
Cylindre tronqué .	Développement de la base $\times$ h ou de la section droite $\times$ C	B $\times$ h	$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$  $c = \frac{c_1 + c_2}{2}$ Fig. 59
Cône droit. . .	Développement de la base $\times \frac{C}{2}$	$\frac{1}{3} \times B \times H$	Fig. 60
Tronc de cône droit à bases parallèles	$^1/_2$ (Développ^t grande base + développement petite base) $\times$ C	$\frac{1}{3} H (B + b + \sqrt{Bb})$	Fig. 61
Sphère. . . .	$4\pi R^2$	$\frac{4}{3} \pi R^3$	Fig. 62

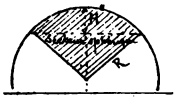
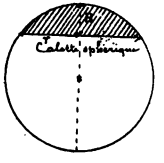
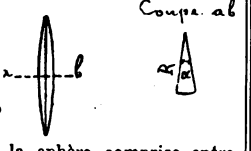
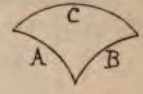
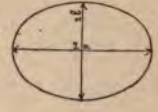
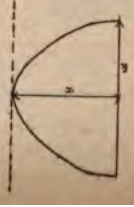
Secteur sphérique.	$2\pi RH$ (calotte)	Surface calotte $\times \frac{1}{3}R = \frac{2}{3}\pi R^2 H$	dont cette hauteur serait le diamètre. Fig. 63 
Calotte sphérique ou segment à une base. . .	$2\pi RH$	$\pi r^2 \frac{H}{2} + \frac{\pi H^3}{6}$	Fig. 64 
Fuseau sphérique.	arc $\alpha \times 2R$	. . .	Fig. 65  Surface de la sphère comprise entre deux demi-grands cercles limités à leur commune intersection.
Onglet sphérique.	. . . . .	Fuseau $\times \frac{1}{3}R = \text{Arc} \times \frac{2}{3}R^2$	

Tableau des Surfaces et Volumes des Corps ronds (*Suite*).

DÉSIGNATION des corps	SURFACES CONVEXES	VOLUMES	RENSEIGNEMENTS DIVERS
Triangle sphérique	$R(A + B + C - \pi R)$		Fig. 66 
Ellipsoïde de révolution . . .	approximativement $4\pi ab$	Autour du grand axe $\frac{4}{3}\pi b^2 a$ Autour du petit axe $\frac{4}{3}\pi a^2 b$	Fig. 67 
Ellipsoïde à trois axes inégaux .	. . . . .	$\frac{4}{3}\pi abc$	Fig. 68 
Paraboloïde de révolution. . .	$4{,}55 \times xy$ (approximativement)	$\frac{1}{2}\pi y^2 x$	

Théorèmes de Guldin

1° La *surface* engendrée par la révolution d'une courbe plane quelconque tournant autour d'un axe situé dans son plan est égale à la longueur de la courbe multipliée par la circonférence décrite par son centre de gravité.

2° Le *volume* engendré par la révolution d'une figure plane quelconque tournant autour d'un axe situé dans son plan est égal à la surface de la figure multipliée par la circonférence décrite par son centre de gravité.

Ces théorèmes permettent de résoudre très simplement la plupart des problèmes relatifs aux surfaces et volumes de révolution.

MÉTRÉS ET CUBATURES

Métré des Ouvrages d'Art.

Exemple : MÉTRÉ D'UN PONCEAU DE 0m,60 D'OUVERTURE

INDICATION DES OUVRAGES	Nombre des parties	DIMENSIONS			SURFACES, CUBES OU POIDS			OBSERVATIONS, CROQUIS, ETC.
		Longueur	Largeur	Epaisseur	Auxiliaires	Partiels	Définitifs	
Maçonnerie de pierres de taille.								
Plinthes . { amont. .		3,96						
aval . .		4,10						
		8,06	0,45	0,40	»	1,45		
Bandeaux		$(\pi \times 0,\overline{70}^2 - \pi \times 0,\overline{28}^2)$		$\frac{0,55+0,40}{2}$	»	0,61		
				0,55 + 0,40				

gueur de la plinthe { amont 3m,96 / aval . 4m,10

uteur des piédroits { amont 0m,50 / aval . 0m,57

de moellons smillés.								
Garde-radier : Rectangle		0,80	0,35	»	$0^{m2},28$			
à déduire : Segment.		»	»	»	$0^{m2},04$			
	2	»	»	0,45		$0^{m2},24$	$0^{m3},22$	
Maçonnerie de moellons têtués par assises réglées								
Douelle.		17,42	$\pi \frac{(0,58+0,30)}{2}$	0,28			$6^{m3},74$	$0,58=\left(\frac{(0,30+0,21)+(0,30+0,35)}{2}\right)$
Maçonnerie de moellons ordinaires.								
Maçonnerie générale.								
Fondations et radier : sous la tête amont		4,16	0,55	0,58	»	1,33		
sous la voûte. .		17,47	1,80	$\frac{0,58+0,51}{2}$	»	17,14		
sous la tête aval.		4,30	0,55	0,51	»	1,21		
raccords . . .		$(0,80^{m2}-\pi\times 0,40^{2})$		$\frac{0,58+0,51}{2}$	»	0,07		
A reporter . . .		. . . . .		. . . . .		19,75		

Fig. 70

Fig. 71

MÉTRÉ D'UN PONCEAU DE 0m,60 D'OUVERTURE (*Suite*).

INDICATION DES OUVRAGES	Nombre des parties	DIMENSIONS — Longueur	Largeur	Épaisseur	SURFACES, CUBES OU POIDS — Auxiliaire	Partiels	Définitifs	OBSERVATIONS, CROQUIS, ETC.
Report . . .	. .					19m²,75		
à déduire : Segment		18,57			0m²,04	0m³,74		
						19m³,01		
Murs en retour Amont	2	1,20	1,68	»	4m²,02			
Murs en retour Aval .	2	1,27	1,75	»	4m²,44			
				0,33	8m²,47	2m³,80		
Tympans-Rectangle. .		0,60	0,70	»	0m²,42			
à déduire : 1/2 cercle		$\frac{\pi}{2}$	$\overline{0,30}^2$	»	0m²,14			
	2			0,33	0m²,28	0m³,18		
Piédroits	2	17,67	$\frac{0,50+0,57}{2}$	0,50		9m³,45		
Voûte — Secteur . .		2,26	$\frac{0,752}{2}$	»	0m²,85			
à déduire : Triangle,		1,50	$\frac{0,05}{2}$	0m²,04				
id. 1/2 cercle		$\frac{\pi}{2}$	$0,30^2$	0m²,14	0m²,18			

Fig. 73.

Saillie de la pierre de taille	Bandeaux.		$(\pi \times 0{,}70^2 - \pi \times 0{,}28^2)$	»	$1^{m2},29$		
			0,88	$\left(\frac{0{,}56+0{,}40}{2}\right)$	$0^{m2},42$		
	Piédroits.		(0,50+0,57)	(0,55+0,40)	$1^{m2},02$		
			(0,50+0,57)	0,42	$0^{m2},45$		
		2			$3^{m2},18$	$0^{m3},13$	
						$43^{m3},52$	
à déduire :							
Maçonnerie de pierre de taille engagée	Bandeaux				$0^{m3},61$		
	Piédroits.				$0^{m3},43$		
Maçonnerie de moëllons smillés. . .					$0^{m3},22$		
Maçonnerie par assises réglées . . .					$6^{m3},74$		
						$8^{m3},00$	
							$35^{m3},52$
Parement vu de pierre de taille							
plinthes .	Dessus .		0,150				
	id.		0,125				
	De face .		0,090				
	id.		0,250				
	Dessous .		0,100				
			0,715	(3,96 + 4,10)		$5^{m2},76$	

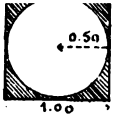


Fig. 73

MÉTRÉ D'UN PONCEAU DE 0m,60 D'OUVERTURE (*Suite*).

INDICATION DES OUVRAGES	Nombre des parties	DIMENSIONS			SURFACES, CUBES OU POIDS			OBSERVATIONS, CROQUIS, ETC.
		Longueur	Largeur	Epaisseur	Auxiliaires	Partiels	Définitifs	
Report. . .						5m²,76		
Têtes et bandeaux { De face .					1m²,29			
Dessous .		0,88	$\frac{(0,55+0,40)}{2}$	»	0m²,42			
	2	»	»	»	1m²,71	3m²,42		
Piédroits { Face extér.	4	0,42	$\frac{(0,50+0,57)}{2}$	»	0m²,90			
Face intér.	4	$\frac{(0,55+0,40)}{2}$	$\frac{(0,50+0,57)}{2}$	»	1m²,02			
						1m²,92		
							11m²,10	
Charge de 0,05 d'épais.								

Perrés à pierres sèches de 0,30 d'épaisseur	à l'amont	$\frac{1,46+1,41}{2}$	2,90	»	»	4m²,16		
		$\frac{1,46+1,36}{2}$	2,90	»	»	4m²,09		
	à l'aval .	$\frac{1,46+1,36}{2}$	3,00	»	»	4m²,23		
		1,46	3,00	»	»	4m²,38	16m²,86	
Pavage à sec en blocage	à l'amont	0,72	2,90	»	»	2m²,09		
	à l'aval .	0,72	3,00	»	»	2m²,16	4m²,25	

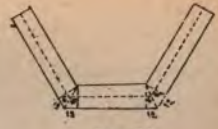


Fig. 74

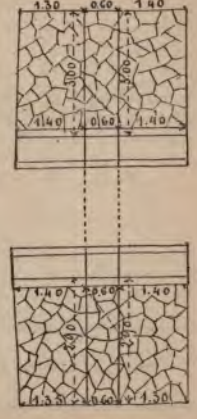
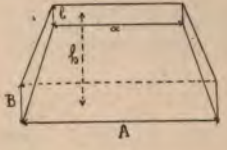


Fig. 75

CUBATURES

Questions usuelles.

ÉNONCÉ DES PROBLÈMES	EXPRESSIONS DES VOLUMES	RENSEIGNEMENTS DIVERS
Mesurage des tas réguliers de sable ou de pierres cassées.	$\frac{1}{6}h\,[A\,(2B + b) + a\,(B + 2b)]$ Si $b = o$, le rectangle supérieur devient une arête, on a : $\frac{1}{6}h\,B\,(2A + a)$.	Fig. 76 
Jaugeage des Tonneaux.	*Méthode en usage à l'Octroi de Paris.* On retranche du diamètre pris à la bonde, le diamètre moyen des fonds ; on multiplie la différence par 0,56 pour les fûts inférieurs à 300 litres, par 0,60 pour les autres. On ajoute ce produit au diamètre moyen des fonds. Le fût est ensuite considéré comme un cylindre ayant pour diamètre le nombre ainsi trouvé, et, comme longueur, la longueur intérieure du fût.	Si le tonneau se rapproche d'une forme géométrique, on se servira des formules géométriques connues.
Mesurage des bois en grume	Il est d'usage d'acheter les bois en grume au $^1/_4$, au $^1/_5$, ou au $^1/_6$ réduits. La circonférence moyenne est mesurée ; on en retire le $^1/_4$, le $^1/_5$ ou le $^1/_6$, selon le	Les méthodes sont différentes suivant les Administrations.

multiplier la surface de ce carré par la longueur de l'arbre.

Volume des corps quelconques

La méthode générale consiste à plonger le corps dans un réservoir quelconque rempli d'eau exactement et de peser l'eau qui en est expulsée.

Pour un corps massif de poids P et de densité D;

$$V = \frac{P}{D}.$$

On peut arriver au même résultat :

1° En graduant le réservoir et en mesurant l'augmentation de volume d'eau, après y avoir plongé le corps.

2° En employant le procédé de la *balance hydrostatique* qui donne la différence du poids du corps dans l'air et dans l'eau, ou le poids de l'eau déplacée, c'est-à-dire le volume. On fait usage de ce procédé dans les fonderies pour obtenir la densité des grosses pièces de fonte ou d'acier fabriquées, telles que croisements et traversées.

Calcul des volumes irréguliers

Cas d'un monticule de terre ABCD

1° Méthode ordinaire . . .

On divisise la hauteur en un nombre quelconque de parties égales d.

$$V = d\left(\frac{w_1}{2} + w_2 + w_3 + \ldots + \frac{w_n}{2}\right)$$

2° Méthode de Thomas Simpson

On divise la hauteur en un nombre *pair* de parties égales d, et par chacun des points de division, on mène des plans horizontaux de section $w_1, w_2 \ldots w_n$.

$$V = \frac{d}{3}\left[(w_1 + w_n) + 4(w_2 + w_4 + \ldots w_{n-1}) + 2(w_3 + w_5 + \ldots w_{n-2})\right]$$

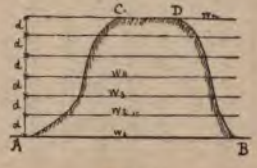


Fig. 77

Rapport du vide d'un tas de pierres à son volume apparent.

La connaissance du vide fournit des renseignements intéressants sur les proportions de mortier à adopter dans les maçonneries et les bétons, ainsi que sur le dosage de la chaux dans la fabrication des mortiers, et sur la quantité de matières d'agrégation nécessaire à la confection des chaussées.

Résultats d'expériences. — 1° 1 mètre cube de pierres cassées uniformément à arêtes vives, permettant l'enchevêtrement, contient 0,45 de vide environ. Il faudra donc, si la pierre cassée est employée comme béton, au moins cette quantité de mortier. Dans la pratique, on emploie trois parties de pierres et deux parties de mortier. — 2° 1 mètre cube de gravier, cailloux roulés, renferme un vide de 0,40 environ au maximum. L'emploi du gravier pour béton est donc économique sous le rapport du mortier.

3° 1 mètre cube de sable donne un vide compris entre 0,35 et 0,40. Si l'on compte sur le retrait de 1/10 de la chaux, il fauda environ $\frac{0,40}{0,90} = 0,45$ de chaux par mètre cube de sable pour combler les vides. Dans la pratique on prend 0,50.

4° 1 mètre cube de grains de plomb fins offre un vide compris entre 0,35 et 0,26. Cette fraction de 0,26 est la limite inférieure du vide dans les particules sphériques infiniment petites. Elle est également donnée par le calcul quand on considère des sphères dont le diamètre tend vers zéro.

Détermination de la fraction du vide dans le sable. — On se sert d'un vase cylindrique dans lequel on verse une hauteur h d'eau. Puis on y projette du sable en quantité suffisante, et on remue le tout.

Après repos, on mesure : Hauteur occupée par l'eau $= h_1$ donc l'eau disparue entre les grains de sable $= h - h_1$, et hauteur occupée par le sable $= h_2$.

Rapport cherché $\frac{h - h_1}{h_2}$.

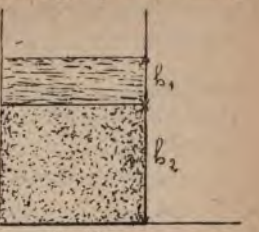


Fig. 78

On peut avoir également deux récipients de même diamètre permettant de jauger à l'avance l'eau et le sable.

Terrassements.

1° AVANT PROJET

Profils en travers

Le profil en long donne les différentes hauteurs h en remblai ou en déblai.

Il s'agit de pouvoir calculer rapidement avec ces hauteurs les surfaces approximatives correspondant aux points du profil en long.

Pour cela, des tables donnant ces surfaces, pour des hauteurs variant de 10 en 10 centimètres, sont indispensables. Ces tables se construisent facilement, quand on est fixé sur les types des profils à adopter.

Le terrain et la plate-forme sont supposés horizontaux.

Construction de la table des remblais

$S = h\ (6{,}00 + \frac{3}{2}\ h)$ pour le type à une voie ci-après.

Cette formule serait longue à calculer pour des hauteurs variant de 10 en 10 centimètres.

On opère rapidement si l'on fait intervenir la *différence seconde* qui est *constante* pour des différences de hauteurs *constantes*.

Connaissant deux surfaces consécutives ABCD = S_0, et $ABC_1D_1 = S_1$, trouver la surface suivante : $ABC_2D_2 = S_2$.

$(S_2 - S_1) - (S_1 - S_0) = D_2$ différence seconde = 2 rectangles $R = \frac{2\,d^2}{\operatorname{tg}\alpha}$

d'où : $S_2 = D_2 + 2S_1 - S_0$.

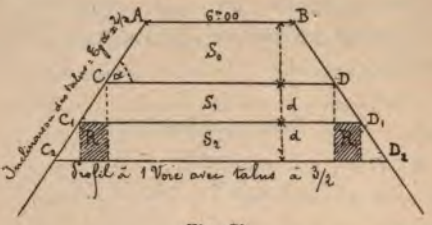


Fig. 79

Règle. — Pour avoir une surface quelconque, il faut faire le double de la dernière trouvée, en retrancher l'avant-dernière et y ajouter la différence seconde.

Exemple : Connaissant la surface du profil en travers pour des hauteurs de 5 mètres et de 5m,10, trouver la surface correspondant à la hauteur de 5m,20.

Surface pour hauteur $h = 5^m,00 = 67^{m2},5000$
$h = 5^m,10 = 69^{m2},6150$

Surface pour hauteur de :

$$5^m,20 = 2 \times 69^{m2},6150 - 67^{m2},5000 + \frac{2 \times \overline{0,10}^2}{2/3} = 71^{m2},7600.$$

Construction de la table des déblais.

$S = 0^{m2},52 + h\,(8,10 + h)$ pour le type à une voie ci-après.

La marche suivie est la même que pour les remblais.

Exemple : Connaissant la surface du profil en travers pour des hauteurs de 6 mètres et 6m,10, trouver la surface correspondant à la hauteur de 6m,20.

Surface pour :

$h = 6^m,00 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 85^{m2},12$

$h = 6^m,10 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 87^{m2},14$

$h = 6^m,20 = 2 \times 87^{m2},14 - 85^{m2},12 + \frac{2 \times \overline{0,10}^2}{1} = 89^{m2},18$

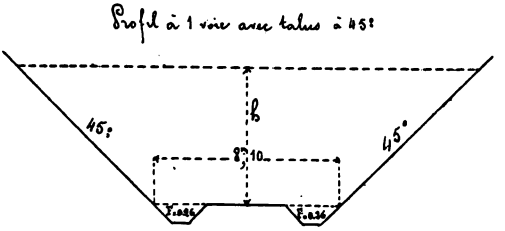


Fig. 80

Des tables se construiraient d'une façon analogue, si le terrain, au lieu d'être horizontal, présentait une inclinaison déterminée.

Profil en long

Trouver les cubes des déblais et des remblais compris entre les profils s_2 et S_2 du profil en long.

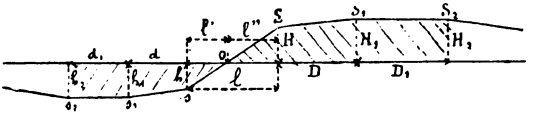


Fig. 81

Point de passage. — Il s'obtiendra en divisant l proportionnellement aux surfaces S et s, de sorte que

$$l' = \frac{l''s}{S}, \quad l' = \frac{ls}{S+s}.$$

S et s pourront ne pas être entièrement en déblai ou en remblai ; ils pourront être mixtes. Dans ce cas S représentera l'excédent du déblai sur le remblai, et s l'excédent du remblai sur le déblai.

Le cube cherché sera :

$$\text{Remblais} = s_2 \times \frac{d_1}{2} + s_1 \times \frac{d + d_1}{2} + s \times \frac{d + l'}{2}.$$

$$\text{Déblais} = S_2 \times \frac{D_1}{2} + S_1 \times \frac{D + D_1}{2} + S \times \frac{D + l''}{2}.$$

Des imprimés sont disposés pour faire commodément ces calculs.

Nota. — Il est clair que le *point de passage* calculé ne se confond pas avec le point o du profil en long obtenu en joignant les points S et s.

2° PROJET DÉFINITIF.

Pour le projet définitif, les profils en travers levés sur chacun des points du profil en long sont rapportés à l'échelle et calculés exactement en tenant compte des différentes déclivités du terrain.

Calcul des points de rencontre des talus de déblai et de remblai avec le terrain naturel dans les profils en travers.

1° Profil en déblai.

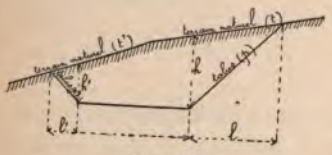


Fig. 82

Côté droit :

$$l = \frac{h}{p - t}.$$

Côté gauche :

$$l' = \frac{h'}{p' + t'}.$$

t et t' = pentes du terrain naturel = tangente de l'angle d'inclinaison sur le plan horizontal.

p et p' = talus de déblai et de remblai = tangente de l'angle d'inclinaison sur le plan horizontal.

2° Profil en remblai.

Côté droit :

$$l = \frac{h}{p - t}.$$

Côté gauche :

$$l' = \frac{h'}{p' + t'}.$$

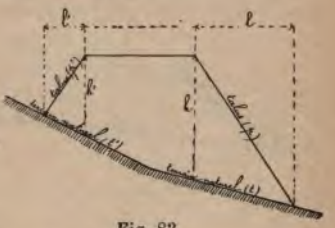


Fig. 83

Règle à suivre. — La formule à employer est de la forme :

$$l = \frac{h}{p \pm t}.$$

La formule $l = \frac{h}{p + t}$ est applicable au cas où les déclivités sont de sens contraire.

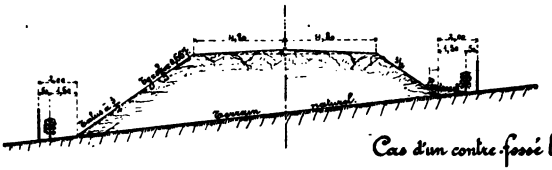
La formule $l = \frac{h}{p - t}$ (en valeur absolue) est applicable au cas où les déclivités sont de même sens.

Mouvement des terres.

Méthode arithmétique. — Des imprimés disposés *ad hoc* permettront, en se servant des calculs des terrassements faits précédemment, de trouver le point kilométrique de remblai auquel s'arrêtera l'apport des terres de la tranchée voisine. Les points kilométriques des centres de gravité du déblai transporté et du remblai comblé se déduiront rapidement de ces mêmes calculs, en cherchant, sur les métrés, les profils les divisant chacun en deux cubes égaux. La distance de ces deux centres de gravité sera la distance de transport des terres de la tranchée considérée.

CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT — PROFILS TYPES

Profil type en remblai.



Cas d'un contre-fossé latéral.

Profil type en déblai.

Cas d'un contre-fossé latéral.

Profil type du ballast dans les tranchées et sur les remblais.

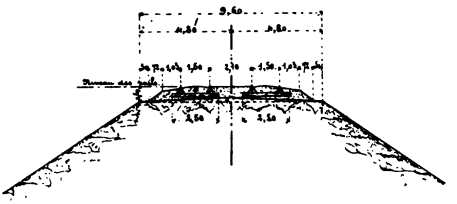


Fig. 84 à 86

Distance moyenne de transport d'un projet de terrassements

$V—V_1—V_2 \ldots V_n$ les cubes des différentes tranchées.
$D—D_1—D_2 \ldots D_n$ les distances respectives de transport des terres de ces tranchées.

$$\text{Distance moyenne du projet} = \frac{VD + V_1D_1 + V_2D_2 \ldots V_nD_n}{V + V_1 + V_2 \ldots V_n}.$$

Méthode graphique. — On emploie du papier quadrillé. Comme abscisses sont représentés les points du profil en long, et comme ordonnées les cubes correspondant aux profils de ces points. A gauche, les ordonnées représentent les déblais et à droite les remblais.

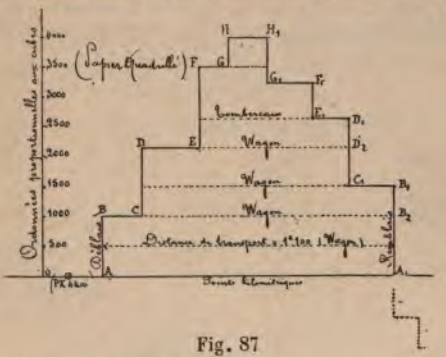


Fig. 87

Les ordonnées AB, CD, EF..... occupent les mêmes points kilométriques que les profils du profil en long, et leurs hauteurs sont proportionnelles aux cubes des déblais afférents à chacun de ces profils. Il en est de même pour les ordonnées A_1B_1, C_1D_1.... qui représentent comme position, la position exacte des profils du profil en long, et comme hauteur les cubes de remblai de ces différents profils.

L'examen de la figure fait connaître les distances de

transport, et, par suite, les modes de transport à adopter : wagon, tombereau ou brouette. Il montre que le profil CD, par exemple, doit servir à combler la partie C_1D_2 du profil C_1D_1 de remblai, et la partie B_1B_2 du profil A_1B_1.

Si le remblai était plus grand que le déblai, les ordonnées de droite passeraient en dessous de l'horizontale, tel qu'il est indiqué en pointillé, et seraient compensées par des déblais apportés du côté droit de la figure.

Détermination du centre de gravité des tranchées réunies ou des remblais réunis

Polygone funiculaire. — Soit à trouver le centre de pression des forces V, V_1, V_2, V_3.

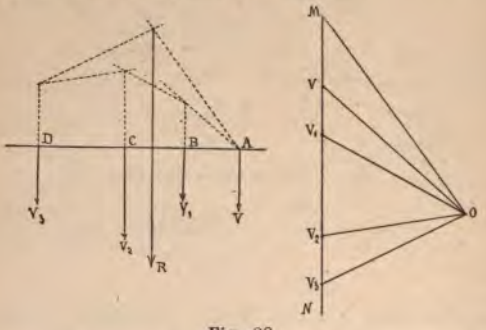


Fig. 88

Sur une verticale MN, on prend à partir du point M des longueurs MV, VV_1, V_1V_2, V_2V_3, proportionnelles aux forces V, V_1, V_2, V_3, et on joint chacun des points M, V, V_1, V_2, V_3, à un point O quelconque.

Par le point A on mènera des parallèles aux deux droites OM et OV, et du point d'intersection de cette dernière avec V_1, on mènera une parallèle à OV_1, et

ainsi de suite. Le point d'intersection des deux parallèles extrêmes, l'une parallèle à MO, l'autre parallèle à V_3O sera un point de la résultante cherchée.

Comme vérification, on pourra prendre un autre point O quelconque, et opérer de la même façon.

Cette épure faite sur papier quadrillé donne immédiatement le point kilométrique de la résultante cherchée R.

La distance entre les deux résultantes : déblai et remblai est la distance moyenne de transport du projet.

Transport des Terres

(Voir exemple à la fin du volume).

Prix de revient de la main-d'œuvre

(Extrait du Bordereau des Prix de la ligne de Brou à Bessé.— Chemins de fer de l'État. — 1880).

La journée est supposée de 10 heures de travail effectif.

	PRIX de la journée
Terrassier, manœuvre, servant de maçon . . .	4 francs.
Maçon	6 »
Tailleur de pierres.	6 50
Charpentier	6 50
Voiture à 1 cheval, conducteur compris (la journée du conducteur comptée 4 fr.)	10 »
Voiture à 2 chevaux, conducteur compris (la journée du conducteur comptée 4 fr.).	16 »
Voiture à 3 chevaux, conducteur compris (la journée du conducteur comptée 4 fr.).	22 »

Prix de revient du transport des terres

Transport à la brouette :

$$X = \frac{2pD}{1000} = 0{,}008 . D \qquad (A)$$

p = prix de la journée de l'ouvrier.

D = distance de transport.

Cette formule est applicable jusqu'à une distance de 60 mètres.

Transport à la voiture :

$$X = P \times \frac{(2D + d)}{L \times C} \qquad (B)$$

P = prix de la journée de la voiture, conducteur compris.

D = distance de transport.

d = distance répondant au temps perdu par le chargement et le déchargement.

L = parcours journalier de la voiture quand elle marche sans interruption.

C = cube du chargement.

Cette formule devient pour une voiture à deux chevaux, pour déblais ou pierre brute :

$$X = 0{,}25 + 0{,}001\,D.$$

Applicable aux cubes inférieurs à 5.000 mètres cubes, quelle que soit la distance.

Quand la distance D deviendra assez grande pour que le voyage exige plus d'une journée, on ne se servira plus de la formule, et l'on aura égard aux habitudes des voituriers et aux prix courants du pays.

Transport au wagon. — Pour déblais de toute nature.

$$X = 0{,}50 + 0{,}0004\,D. \qquad (C)$$

Transport à la locomotive sur voie définitive. — La formule suivante est quelquefois appliquée :

$$X = 0{,}35 + 0{,}0001\,D. \qquad (D)$$

Transport aérien par câbles. — Le système suivant peut être employé dans l'exploitation des carrières pour franchir des distances de 150 à 200 mètres

environ avec des pentes de 0,40 par mètre. Deux câbles en fil de fer *c*, *c'* de 2 centimètres de diamètre solidement fixés à leurs extrémités où se trouvent des ancrages et appareils de tension servent de rails à deux chariots A et A'; A chargé descend, A' vide monte.

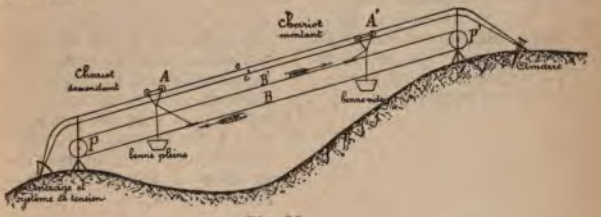


Fig. 89

Un câble sans fin BB' s'enroule autour de deux poulies PP', il a chacun de ses brins reliés par une chaîne à l'un des deux chariots ; il remplit de la sorte l'office de câble tracteur.

La benne pleine entraîne le câble sans fin BB' qui fait monter la benne vide.

L'arrêt s'opère à l'aide d'un frein.

Nota. — Les deux câbles *c c'* figurés sur le croquis se trouvent en réalité sur un même plan perpendiculaire au plan vertical.

CONSTRUCTION

Des Pierres à bâtir.

QUALITÉS :

Finesse et homogénéité de grain, texture compacte sans fil ni moye, résistance au choc, inaltérabilité aux agents atmosphériques, facilité de travail, adhérence au mortier.

DÉFAUTS :

Gélivité : pour faire l'essai on plonge un échantillon de la pierre dans le sulfate de soude fondu bouillant, on le met ensuite dans un courant d'air ; l'échantillon éclate si la pierre est gélive.

Moyes-Pierres moulinées (s'égrenant à l'humidité). — Pierres pouffes (qui ne peuvent pas se tailler à arêtes vives). — Pierres ferrées.

Classification des pierres a batir

1° Calcaires (Se décomposent par la chaleur)

A — Calcaires proprement dits

- *Pierres marbres.* — Beau poli, se taillant bien, résistantes. Pierres de Château-Landon, (Arc-de-Triomphe à Paris).
- *Liais et Cliquards.* — Cassure de la pierre lithographique, son clair, résistance à l'écrasement. — Pierres de Senlis, Bagneux (Colonnes du Panthéon).
- *Roches et pierres dures.* — Très-denses et très résistantes (Jura et Isère) (Soubassements de l'Opéra). — Coquilliers.
- *Banc franc.* — Sujet à geler et à se désagréger.
- *Banc royal.* — Texture grenue propre à la sculpture (Statues de la place du Carrousel).
- *Vergelets et lambourdes.* — Agrégation d'un sable calcaire, tendres.
- *Saint-Leu et pierres grasses.* — Débris de coquilles. Durcit à l'air.
- *Grès bâtards.* — Grès à ciment calcaire. Difficile à tailler, non gelifs.

B — Gypseuses

2° Siliceuses (Ne se décomposent pas par la chaleur)

- Siliceuses proprement dites.
- Argileuses (Ardoises).
- Volcaniques (Basaltes-Laves).
- Roches primitives (Granit).

TABLEAU DES TERRAINS AU POINT DE VUE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, DES MINÉRAUX ET DES FOSSILES QUI LES CARACTÉRISENT

DÉSIGNATION des différentes couches		MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET MINÉRAUX	FOSSILES PRINCIPAUX ET RENSEIGNEMENTS DIVERS
Terrains d'alluvion ou quaternaires.		Sables, dunes, cailloux roulés, briques communes, terres argileuses pour pisé, silex taillés, cailloux roulés de l'époque glacière, blocs erratiques, alluvions aurifères et stannifères, minerais en grains, Soufre, pouzzolanes, Or, argent, platine.	Creusement des vallées, Ossements des cavernes, Cervus giganteus, Mammouth, Ursus spœleus, Hyena spœlea.
Terrains tertiaires	Pliocène . . .	Sables des Landes, Minerais de fer d'alluvions en grains, minerais de fer argileux des fentes et cavernes, argiles et marnes subapennines, Minerais de fer des Landes. Dépôts coquilliers.	Voluta Lamberti, Coraux, Baleines, Requins, Nummulites, Tortues.
	Miocène . . .	Falhuns de la Loire et d'Armagnac, Calcaires et marnes avec gypses d'Aix, Lignites de Provence, Sables et meulières de Beauce, Sables et grès de Fontainebleau employés comme pierre de taille, Meulière de Brie (La Ferté-sous-Jouarre), Marnes vertes de Paris, Calcaire à ciment (Château-Landon), Asphalte de Seyssel (Ain).	Falhuns à voluta et dinothérium, Mastodontes, Marnes à ostrea cyathula et longirostris, Marnes jaunes à cyrena convexa.

TABLEAU DES TERRAINS AU POINT DE VUE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, DES MINÉRAUX ET DES FOSSILES QUI LES CARACTÉRISENT — *(Suite).*

DÉSIGNATION des différentes couches		MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET MINÉRAUX	FOSSILES PRINCIPAUX ET RENSEIGNEMENTS DIVERS
Terrains tertiaires (*Suite*)	Eocène . . .	Gypse de Montmartre à fer de lance, marnes blanches et vertes, calcaires de Saint-Ouen, sables et grès de Beauchamps, calcaire de Bagneux, Vitry, Meudon, Banc royal dit Pierre de Conflans, Vergelet et Lambourde, argiles plastiques, blanc de Meudon-Vaugirard (céramique), Argile blanche de Montereau, Sables et calcaires de Rilly. (Les pierres de taille du bassin de Paris sont presque toutes dans les terrains tertiaires).	Marnes à lymnea strigosa, Palœotherium, Anoplotherium, Sables à nummulites planulata, Argiles à cyrena cuneiformis, Mammifères nombreux, Oiseaux, Reptiles, Poissons.
Terrains secondaires	Crétacé . . .	Craie blanche (Meudon), Calcaire pisolithique, Marnes crayeuses, Calcaire marneux à chaux hydraulique du Theil, Calcaire à ciment de Portland, Sables verts avec phosphates de chaux, Couche de Vassy, Minerai de fer (Tarn), Sources salées des Landes.	Craie à bélemnites, Craie à micraster, Tuffau à grande ostrea, Craie à holaster, Sauriens gigantesques, Ammonites, Mollusques.
	Jurassique . .	Pierres de taille de l'Est, Pierres à chaux, à ciment, Calcaires du Jura, des Pyrénées, Minerais de fer de Touraine, Pierre lithographique, Pierre de Saint-Illy (Opéra), de Sampans, Damparis (Jura). Etage de la grande oolithe.	Ammonites giganteus, Marnes à ostrea virgula, Calcaires à polypiers, Oolithe miliaire, Zone à terebratula, Grands sauriens.
	Lias	Marnes schisteuses et bitumineuses, Calcaires à ciment de Bourgogne (Pouilly), Phosphates de chaux, Minerais de fer de Rancié (Ariège), Manganèse (Vienne).	Ammonites bifrons, Bélemnites, Gryphea arcuata, Ammonites angulatus, Ammonites planorbis, [illegible]

		Manganèse (Cher)	
Terrains primaires	Pénéen ou Permien	Craie des Vosges, Grès argileux, Schistes cuivreux (poissons), Nouveau grès rouge, Grès cuivreux de Perm (Russie).	Productus horridus, Troncs silicifiés, Poissons, Trilobites, Cryptogames vasculaires.
	Houiller	Schiste houiller, schiste bitumineux, Houilles maigres, Anthracite, Calcaire carbonifère, Schistes pyriteux et aluminifères pour couperose et alun, Carbonates de fer, Phosphate de chaux (Allier).	Fougères, Lycopodiacées, Productus semi-reticulatus, Conifères, Végétation très active, Poissons nombreux, Coquilles, Insectes.
	Dévonien	Marbres noirs, Schistes, Vieux grès rouge, Pouddingues, Marbre de Givet, Schiste bitumineux, Graphite de Ferrières, Plomb (Vendée).	Terebratula cuboïdes, Grauwake à grands spirifères. Pleurodyctium problematicum (Reptile), Poissons nombreux.
	Silurien et Cambrien	Schistes ardoisiers d'Angers, Grauwakes et grès, Quartzites réfractaires pour hauts-tourneaux (Boulogne-sur-Mer), Marbres de Saint-Girons et Prades, Pierres à aiguiser, Minerais de fer de Fourmies, Calamine de la Vieille-Montagne, Manganèse (Allier), Manganèse d'Argut (Haute-Garonne), Bismuth de Melles (Haute-Garonne), Cobalt, nickel, arsenic (Luchon et Barèges), Bitume de Saint-Amarin.	Cardiola interrupta, Paradoxides, Trilobites, Poissons, Fucus, Cryptogames vasculaires, crustacés, mollusques.
Terrains anciens et de cristallisation		Schistes argileux, Micashistes, Talcshistes, Gneiss, Granites, Jaspe veiné de Saint-Gervais (Haute-Savoie), Pierre de Wolwich, Basaltes, Trachytes, Serpentines, Diorite des Pyrénées, Serpentine de Bretagne, Granit porphyrique, Porphyre amphibolique, feldspathique.	Aucune trace de vie organique; Pas de fossiles.
		Antimoine, Plomb argentifère, Fer spathique, Manganèse de Mazamet (Tarn). Cuivre pyriteux, zinc (Isère, Tarn). Étain, or et argent (Puy-de-Dôme). Kaolin de Saint-Yrieix. Marbres (Isère). Porphyre de Fréjus Ardoises (Tarn). Mercure, cobalt et nickel (Isère).	

Moyens employés pour préserver les pierres calcaires

1° *Silicatisation*, consiste dans l'emploi du silicate de potasse ; il se forme un silico-carbonate de chaux et de la potasse qu'un lavage fait disparaître.

2° La *phosphatation* et la *paraffination* ont été employées sans grand succès.

Essais des matériaux de construction

Voir tableau à la Résistance des matériaux.

1° *A l'User* (Machine Müller). Consiste à imprimer au moyen d'une bielle un mouvement de va-et-vient à un bloc useur en granit reposant sur le bloc soumis à l'expérience avec interposition de sable. Une règle micrométrique mesure l'usure, et un compteur donne le nombre de tours de la machine.

2° *A l'écrasement.* (Machine Michelot). On soumet à l'expérience des petits cubes que l'on charge à l'aide d'un poids curseur se déplaçant sur un bras de levier.

Résultats d'expériences :

Résistance proportionnelle à la densité ;

Résistance proportionnelle à la surface transversale ;

Résistance plus grande quand la section se rapproche du cercle ;

Résistance des cubes superposés plus petite que celle du prisme ayant les dimensions de l'ensemble.

3° *A l'écrasement, à l'arrachement, au cisaillement.* — (Appareil Nivet). Se trouve entièrement renfermé dans une boîte horizontale de $0^m,50 \times 0^m,35 \times 0^m,10$ environ.

Comprend des moules à cubes et à briques de 5 centimètres carrés et de $2^{c^2},5$ de section.

Arrachement. — Deux mâchoires : M reliée à un dynamomètre à cadran, M' actionnée par une vis. Entre les mâchoires se met la pièce à essayer.

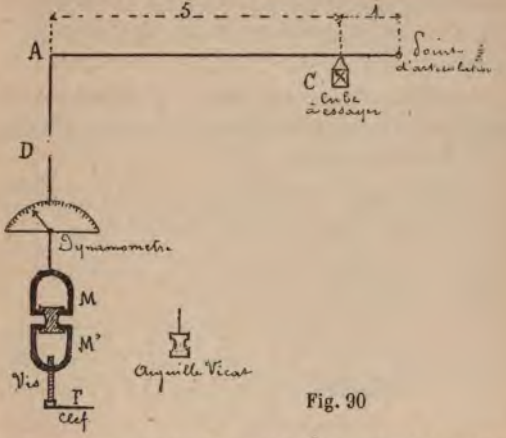


Fig. 90

Ecrasement et cisaillement. — Les deux mâchoires sont reliées par une pièce en fer pesant 300 grammes et pouvant faire office d'aiguille Vicat. Le cube à essayer se place en C, et l'extrémité A du levier est reliée au dynamomètre en D.

La pression est donnée par la clef F agissant sur la vis.

Chaux et Ciments.

La chaux est *grasse* si le foisonnement ou l'augmentation de volume atteint le double au moment de l'extinction.

La chaux est *maigre* si le foisonnement ou l'augmentation de volume est faible.

La chaux est *hydraulique* si elle durcit sous l'eau.

La chaux se contracte au moment de la prise (*cristallisation*).

Vicat trouva que pour avoir une bonne chaux, il fallait avant la calcination faire un mélange de calcaire et d'argile dans certaines proportions.

Le dosage comprenant 83 parties de carbonate de chaux pour 17 d'argile donne la chaux hydraulique ordinaire.

La meilleure proportion avant la cuisson a été reconnue de 77 de calcaire pour 23 d'argile. (Ciment de Portland de Boulogne).

Aiguille Vicat. — De 1 millimètre carré de section et d'un poids de 300 grammes; elle est employée pour se rendre compte de la prise des chaux et ciments.

Fig. 91

La chaux hydraulique prend du 2e au 6e jour. Le ciment de Portland fait sa prise entre 1/2 heure et 20 heures.

Les ciments sont à *prise rapide* ou *légers*, ou bien à *prise lente* ou lourds.

Le ciment de Portland pèse 1.350 kilos le mètre cube, le ciment de Vassy pèse 1.150 kilogrammes.

Prise de la chaux et des ciments dans les mortiers. — La prise est une véritable cristallisation de l'hydrate de chaux, des silicates et aluminates de chaux. Cette cristallisation sera d'autant plus énergique qu'on éliminera la plus grande partie de l'eau en excès et que le mélange du sable et de la chaux sera plus intime.

Le durcissement se complètera par l'action de CO^2, transformant la chaux en CaO, CO^2.

Les laitiers des hauts-fourneaux et les pouzzolanes résultant de la cuisson des argiles sont employés dans la fabrication des mortiers. S'ils contiennent des sulfures, il se forme CaO,SO^2, et il en résulte la dislocation des mortiers.

La différence de prise entre les chaux et les ciments fait que le mélange donne quelquefois un mauvais résultat.

Influence de l'eau de mer sur les mortiers. — La chaux du Theil (Ardèche) paraît le mieux résister à l'eau de mer. L'eau en se renouvelant agit mécaniquement en dissolvant l'hydrate de chaux non cristallisé. Alors l'aluminate et le silicate de chaux restent en présence de l'eau chargée de sel (Na Cl), de sel de magnésie et de CO^2. L'aluminate de chaux forme l'aluminate de magnésie, et la chaux est entraînée. Le silicate de chaux devient CaO, CO^2 qui se dissout, et l'acide silicique donne une espèce de gelée.

Il y a donc dislocation complète du mortier.

Le mortier résistant à l'eau de mer est celui qui a eu le temps de se carbonater, et qui est formé de chaux plutôt siliceuses qu'alumineuses, car les aluminates sont les premiers qui se décomposent.

Emploi du sable de mer. — Il contient des sels déliquescents qui disparaissent sous l'action des pluies, Il peut être ensuite employé dans les maçonneries.

Fabrication de la chaux.

La chaux provient de la décomposition du CaO, CO^2, à une température de 900 à 1100°.

On cuit la chaux :

1° En tas ; 2° dans des fours : four du Theil, four Müller et Fichet à gaz, four Devillaine à anthracite.

La *chaux hydraulique artificielle* se fabrique en préparant à l'avance le dosage convenable de calcaire et d'argile. Le dosage varie de 89 de calcaire pour 11 d'argile, pour une chaux moyennement hydraulique, à 77 de calcaire et 23 d'argile pour le ciment (chaux hydraulique limite).

La chaux hydraulique ordinaire est formée de 83 de calcaire et 17 d'argile.

Fabrication des ciments.

Les ciments et les chaux hydrauliques ne diffèrent que par la proportion d'argile avant la cuisson. Le dosage varie de 77 de calcaire et 23 d'argile, pour une chaux hydraulique limite, à 39 de calcaire et 61 d'argile pour le ciment limite.

Le ciment ordinaire est formé de 64 de calcaire et 36 d'argile.

Le mélange à froid de chaux en poudre et de laitiers réduits en poudre possède les propriétés des ciments. C'est une industrie nouvelle appelée à prospérer.

Ouvrages en ciment avec ossature métallique.
(Voir Bulletin de Mars 1894 de la *Société des Ingén. civils*).

Détermination de la chaleur des fours.

C'est un point très important duquel dépend la qualité des chaux et ciments.

On emploie des briques réfractaires que l'on mêle à la matière, et dont la couleur varie avec le degré de chaleur.

Une couleur	rose tendre	indique	une chaleur	modérée
—	rouge	—	—	intense
—	violette	—	—	plus grande
La vitrification		—	—	excessive.

Pyromètre de Wedgwood. — Basé sur le retrait d'un cône d'argile soumis à une température élevée.

Pyromètre de Brongniart. — Employé pour les fours à porcelaine. Se compose d'une tige d'argent qui pousse une tige en porcelaine actionnant un levier.

Béton Çoignet

Se compose de sable, de chaux et de ciment. Le mélange s'opère dans un malaxeur dans lequel on

ajoute l'eau nécessaire. Il se fabrique par couches pilonnées. Celui des égouts de Paris est formé de 5 parties de sable + 1 de chaux + 1/4 de ciment.

On fait couramment au moyen de cintres ronds et sur place, des *buses* d'un assez grand diamètre pour l'écoulement des eaux sous les chemins.

L'emploi des blocs artificiels en béton de ciment est fréquent dans les travaux de protection des ports.

Utilisation des escarbilles des chemins de fer. On en fait des briquettes en les mélangeant avec de la chaux en poudre et en les moulant sous une pression convenable. Employées pour les murs de clôture. La fabrication de ces briquettes se rapproche de celle des briques ordinaires.

On les fait entrer également dans la composition du béton pour dallages.

Moyens employés pour prévenir l'humidité dans les constructions. — Trois principaux : Appliquer sur toute la surface du mur et au niveau du plancher du rez-de-chaussée ;

1° Couche d'asphalte ;

2° Feuille de plomb ;

3° Couche de ciment et de briques bien cuites.

Essai chimique des chaux et ciments.

Principe de l'analyse par les liqueurs titrées. — La chaux qui est peu soluble dans l'eau se dissout facilement dans l'eau sucrée pour donner un saccharate de chaux.

Soient un point P de chaux pure employée pour former le saccharate dont on remplira une burette graduée, et un certain volume d'acide chlorhydrique étendu coloré en rose par le tournesol contenu dans un autre vase.

Le saccharate versé goutte à goutte sur l'acide chlorhydrique donnera du chlorure de calcium et du sucre libre. Il arrivera un moment, quand il n'y aura plus d'acide libre, où la liqueur deviendra bleue. A ce moment on aura employé N divisions de la burette graduée.

Chaque division de la burette correspond donc à un poids $\frac{P}{N} = p$ de chaux pure.

De là on déduit un moyen simple d'analyse d'une chaux. On prend un poids P de chaux à analyser $= Np$ que l'on mélangera avec le volume précédent d'acide chlorhydrique. On ajoutera du tournesol. Si la chaux était pure, on obtiendrait la teinte bleue; mais l'acide n'est pas neutralisé et le rose persiste. Pour obtenir la teinte bleue, il faut verser n divisions de saccharate. La chaux essayée est représentée par N-n divisions et par suite renferme p (N-n) de chaux pure.

Il est indispensable d'employer un acide et un saccharate de composition fixe.

Plâtre.

Le plâtre s'obtient en soumettant le gypse ou pierre à plâtre, sulfate de chaux (CaO, SO^3 + 2 HO) à une cuisson d'une température de 150° qui lui fait perdre son eau de cristallisation.

Le plâtre augmente de volume en durcissant. Employé pour stucs, simili-marbres. L'outil dont on se sert est la truelle en cuivre, car le fer serait attaqué.

On évite également de mettre le zinc en contact avec le plâtre dans les couvertures, car, sous l'influence de l'humidité, le plâtre attaque le zinc.

Le plâtre étant hygrométrique, prendre comme règle de ne l'employer que dans les endroits à l'abri de l'humidité.

1° Bois durs : Chêne, Frêne, Orme, Chataignier, Noyer, Hêtre

ESSENCE ET POIDS du mètre cube		CARACTÈRES PARTICULIERS du bois proprement dit	EMPLOI
Chêne : 645 à 1220 kilog.	Pédonculé ou chêne blanc	Presque blanc, devient rose en vieillissant dans l'eau. Fibres droites, élastiques et résistantes.	Menuiserie et Charpente.
	Chêne rouvre ou de Bourgogne	Plus foncé que le précédent. Fibres moins élastiques et moins résistantes que celles du chêne pédonculé.	id.
	Chêne noir ou Tauzin . .	Foncé, dur (Midi et Ouest) ; fibres rebours ou entrelacées, plus de défauts que le précédent.	id.
	Chêne des Vosges . . .	Travaille moins aux alternatives de sécheresse et d'humidité. — Fibres moins dures et moins résistantes.	Recherché pour la menuiserie.
	Chêne vert ou Yeuse . .	Brun clair, très dur, aubier blanc. Se conserve à l'eau et à l'air. Croît lentement. Se tourmente beaucoup à l'air. — Fibres rebours.	Poulies. Dents d'engrenage. Donne de bons frottements.
Frêne : 785 kilogrammes .		Se fend moins que le chêne, mais moins dur. Couches alternatives dures et tendres. — Se pique des vers. — Fibres résistantes, flexibles, très droites.	Carrosserie, charronnage, manches d'outils.
Orme : 745 à 945 kilogr.	Ordinaire . .	Rougeâtre. — Couches alternatives dures et tendres. — Se pique des vers. Fibres tenant le milieu entre le chêne et le frêne.	Carrosserie, roues.
	Tortillard . .	Bois parfait, dur, rouge. — Aubier jaune blanc, plus dur que le bois parfait. — Fibres rebours.	Charronnage. Recherché pour les pièces percées de trous.

ESSENCE ET POIDS du mètre cube	CARACTÈRES PARTICULIERS du bois proprement dit	EMPLOI
Châtaignier : 685 kilogr.	Analogue au chêne, moins dur, plus souple. — Se distingue du chêne par l'absence de rayons médullaires. Non maillé. — Sujet à la vermoulure, se conserve au sec. — Fibres plus flexibles que celles du chêne.	Lattes, échalas, merrains, manches d'outils, cercles à barriques.
Noyer : 600 à 745 kilogr.	Grain fin, gris brun foncant à l'humidité. — Se coupe bien dans tous les sens. Fibres très-fines, résistantes, plus foncées vers le cœur.	Ébénisterie, modèles, panneaux de voitures, sculpture.
Hêtre : 715 à 885 kilogr.	Brun clair veiné de parties brillantes plus claires que le bois. — Se conserve assez bien sous l'eau, s'attaque des vers à l'air ; il durcit quand il est chauffé avec ses copeaux. — Se coupe bien, peu de durée.	Menuiserie, ébénisterie, mesures de capacité. Se travaille au tour.
2° Bois blancs : PEUPLIER, TREMBLE, AULNE, BOULEAU, TILLEUL, PLATANE, ACACIA, CHARME, ERABLE, SAULE, MARRONNIER, LAURIER		
Peuplier : 370 à 615 kilogr. — Noir	Blanc, très-léger, ferme et résistant. Filandreux. Plus solide que les deux autres. Couches annuelles peu visibles.	Menuiserie, brouettes, voliges, carrosserie
Peuplier : 370 à 615 kilogr. — Blanc ou grisard ou de Hollande	Le dessous des feuilles recouvert de duvet blanc. — Grain fin, serré. Susceptible d'un beau poli. — Se coupe bien à l'outil.	Menuiserie, sabots, ustensiles,
[illegible]	[illegible] vite à l'air. — Résiste mieux à l'humidité	Voliges, [illegible] pompes, grillages de fondation.

Tremble : 540 kilogr. . .	Mou, peu résistant. — Croit dans les terrains humides.	Ouvrages grossiers.
Bouleau : 700 kilogr. . .	Jaunâtre. — Donne au cuir l'odeur du cuir de Russie. — Remplace avec avantage le peuplier.	Employé pour chauffer les fours de boulangers.
Tilleul : 560 à 600 kilogr. .	Léger, uni, tendre, rougeâtre. — Facile à travailler, se tourmente peu à l'humidité.	Sculpture. Modèles. Le liber sert à faire des cordes de puits.
Platane 630 à 715 kilogr. .	Peu d'aubier. — Se coupe facilement. — Se pique des vers. — Ressemble au hêtre.	Employé pour les ouvrages constamment dans l'eau.
Acacia : 785 à 800 kilogr. .	Jaune avec veines brunes ou verdâtres. Dur, s'éclate et se fend très facilement. Prend un beau poli.	Pilotis. Roues de voitures.
Charme : 760 kilogr. . .	Blanc, dur, grain fin et serré. Se fend en séchant.	Vis de pression. Masses à fendre. Maillets.
Erable : 560 à 645 kilogr. — Commun . .	Un des meilleurs bois blancs. Prend un beau poli. Recherché quand il a beaucoup de nœuds. L'eau forte rend sa couleur dorée.	Recherché pour l'ébénisterie.
Erable : 560 à 645 kilogr. — Sycomore . .	Jaunit avec le temps. Recherché pour les meubles quand il est moucheté. Prend le poli et le vernis.	id.
Saule : 420 kilogr. . . .	Blanc rougeâtre, analogue à l'aulne. Flexible. Serré et homogène.	Menuiserie. Se travaille bien au rabot et au tour. Peu employé.
Marronnier d'Inde : 655 kg..	Blanc, mauvaise qualité. Se tourmente beaucoup à l'air. Pas attaqué par les vers. Se teint en noir pour imitation d'ébène. Peu résistant.	Boîtes, corbeilles, menus ouvrages.
Laurier : 695 kilogr. . .	Blanc, tendre, souple.	Charronnages et menus travaux.

ESSENCE ET POIDS du mètre cube	CARACTÈRES PARTICULIERS du bois proprement dit	EMPLOI
3° Bois fins : SORBIER OU CORMIER, POIRIER, POMMIER, MERISIER, CORNOUILLER, BUIS (ARBOUSIER, PRUNIER, ALISIER, NÉFLIER, ABRICOTIER, AMANDIER, GENÈVRIER, HOUX, OLIVIER, ORANGER, SUMAC)		
Sorbier ou Cormier 900 à 915k	Rougeâtre, grain fin, susceptible d'un beau poli. Se coupe bien.	Dents d'engrenage, pièces qui doivent être très dures.
Poirier : 660 à 715 kilogr. .	Rougeâtre, moins bonne qualité que le sorbier ; doit être employé très sec.	Comme le précédent.
Pommier : 760 à 800 kilogr.	Rougeâtre, inférieur aux précédents.	id.
Merisier ou Cerisier : 715 à 860 kilogr	Rougeâtre, peut prendre un beau poli. Prend une couleur rouge plus foncée dans l'eau de chaux ou l'acide azotique.	Charpente et ébénisterie.
Cornouiller : 760 kilogr. .	Blanc, roussâtre. Le cœur devient brun en vieillissant. Plus dur que le cormier. Souple. Difficile à couper.	Dents d'engrenage. Manches d'outils de travail des métaux à chaud.
Buis : 900 à 1325 kilogr. .	Jaune, dur, compact, très fin. Donne de bons frottements. Se travaille dans tous les sens. Odeur particulière.	Gravure sur bois. Petits objets pour l'électricité. (Mauvais conducteurs).
4° Bois résineux : PINS, SAPINS, MÉLÈZE, CÈDRE, CYPRÈS, IF, PITCHPIN.		
Pins : de Russie, de Suède, de Norwège, de Prusse, des Landes, Silvestre (du Nord : 820 kilogr.) . .	Couches alternatives dures et tendres. Les parties dures sont résineuses Se conservent bien sous l'eau. Donnent essence de térébenthine et colophane.	Pièces de charpente, pilotis.

Mélèze : 600 kilogr. . . .	Sert bien à l'air et dans l'eau. Couches alternatives tendres et dures. Grain plus serré que le sapin.	
Cèdre : 600 kilogr. . . .	Rougeâtre, atteint de grandes proportions. Grain fin, mais trop tendre pour recevoir un beau poli. Evité par les insectes à cause de son odeur.	Sert pour l'intérieur des meubles de luxe.
Cyprès : 665 kilogr. . . .	Roux, le plus durable des bois, dur, compact, incorruptible. Odeur suave. Prend très bien le poli. Se développe avec une extrême lenteur.	Menuiserie. Construction.
If : 800 kilogr.	Rouge, très beau bois. Peut recevoir un poli parfait. Croît très lentement. Presque incorruptible. Atteint de grandes proportions.	Ornementation. Menuiserie, ébénisterie.
Pitchpin : 600 kilogr. . .	Veines rouges, beaucoup d'analogie avec le sapin, mais supérieur. Vient d'Amérique.	Charpente, meubles. Très employé.

5° Bois exotiques : Gayac, Ebène, Acajou, Palissandre, Thuya, Teak (Santal, Amarante, Bambou, Bois de rose, Bois de violette, Calamba, Kurbaris, Tamarin)

Gayac : 1330 à 1340 kilogr.	Pas de couches annuelles, pas de fibres. Dur, lourd, brun foncé ; bois gras. Prend difficilement l'humidité, éclate facilement. Odeur particulière.	Coussinets pour paliers. Petites poulies.
Ebène : 1120 kilogr. . .	Beau noir. Prend un vif éclat par le poli. Dur, pesant.	Meubles très riches, surtout associé à l'ivoire.
Acajou : 560 à 900 kilogr. .	Vit dans l'Amérique du Sud. Grand, reçoit un beau poli. Se développe facilement. S'expédie en billes. Inaltérable.	Ebénisterie, placage et meubles de de prix.
Palissandre	Vit au Brésil. Dur, sec, résineux, facile à polir et à vernir. Odeur suave.	On l'associe à du bois blanc pour les meubles. Ebénisterie, marqueterie, sculpture
Thuya : 560 kilogr. . . .	Ressemble au sapin, mais plus dur. Recherché quand il est noueux pour l'effet moucheté.	Ebénisterie.
Teak : 695 kilogr. . . .	Très employé en Angleterre. C'est le chêne du Malabar. Inaltérable, grain serré, beau poli. Couleur du noyer.	Portes d'écluses. Construction.

Structure des Bois.

1° Epiderme.
2° Enveloppe subéreuse.
3° Liber.
4° Cambium.
5° Aubier.
6° Bois parfait.
7° Moëlle.

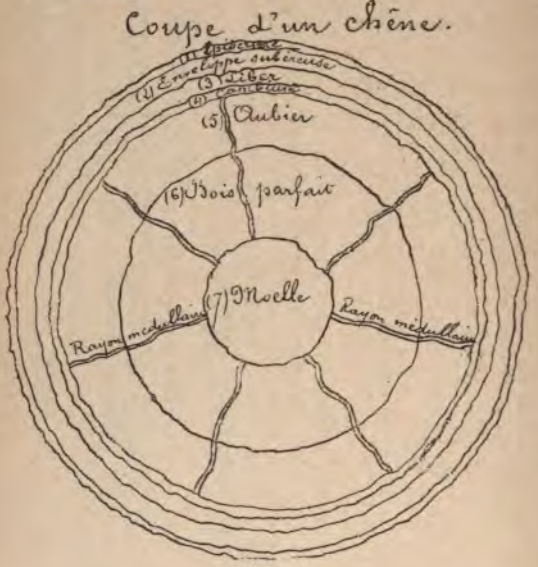


Fig. 92

Le liber du tilleul sert à faire des cordes de puits; l'enveloppe subéreuse du chêne-liège devient très épaisse et fournit les bouchons.

La croissance de l'arbre se fait par le cambium, qui fournit chaque année une couche d'aubier et une couche de liber. Une couche intérieure d'aubier devient bois parfait, et le liber augmente de diamètre en se crevassant. Les différentes couches servent à déterminer l'âge des arbres.

Défauts principaux des bois. — Aubier, double

aubier, nœuds, roulures, gélivures, gerces, cadranure, bois tors, vermoulure, ulcères, carie.

La *roulure* est un vide entre l'écorce et l'arbre produit par le vent, la gelée ou le givre qui ont fait tomber l'écorce de l'année précédente.

La *gélivure*, produite par la gelée, est une fente partant du cœur, et n'atteignant pas la circonférence.

La *gerce*, produite par la dessiccation, est une fente partant de la circonférence.

Fig. 93

La *cadranure* est la réunion d'une gélivure et d'une gerce.

Qualités des bois. — Indices : Pousse droite et section circulaire. — Absence de nœuds. — Dureté. — Couleur claire. — Odeur agréable des copeaux humectés. — Son clair. — Copeaux flexibles.

Conservation des Bois.

L'abatage doit se faire en hiver ; la sève est arrêtée et la pourriture ne peut pas se produire. Le but poursuivi est d'extraire la sève. Il y a avantage à écorcer en mai les bois de charpente qui doivent être abattus en automne.

Dessiccation. — Elle se fait par un simple empilage ou bien par étuvage.

Enduits. — Peintures, goudrons, mailletage consistant à recouvrir de clous toute la surface des navires pour les préserver du taret.

Flottage . — Consiste à remplacer la sève par l'eau en laissant la pièce assez longtemps dans l'eau. On n'emploie ce moyen que pour les bois résineux et les bois durs; les bois tendres et blancs se pourrissent trop vite. Le bois flotté se conserve mieux, et se gauchit moins que le bois desséché par les autres procédés, mais il a une cohésion moins grande.

Les bois conservés dans l'eau de mer sont impropres aux constructions civiles, car, par suite de la présence du sel dans les pores, ils deviennent hygrométriques.

Les bois flottés doivent séjourner trois mois dans l'eau dormante, ou deux mois dans l'eau courante, ou dix jours dans l'eau de condensation des machines à 40 degrés.

Carbonisation superficielle ou *flambage*. — Dans la marine, on opère au moyen du chalumeau à gaz. La grande chaleur augmente la dureté du bois, produit une sorte de créosote dans les couches profondes, détruit les ferments, remplace l'enduit.

Emploi des antiseptiques.

Consiste à remplacer la sève par un sel antiseptique, tel qu'un sel de cuivre ou de fer, ou par la créosote, le sublimé corrosif ou bichlorure de mercure, le chorure de zinc, etc...

On peut aussi laisser tremper le bois écorcé et scié quelques jours dans du lait de chaux.

Le chêne ne subit aucune préparation.

Le sel métallique peut être introduit avant ou après l'abatage (procédé Boucherie), mais l'opération se fait en général sous pression sur des bois débités.

Préparation au sulfate de cuivre des traverses de chemin de fer en pin. — Traverse de la Compagnie du Midi mesure $2^{m},60 \times 0^{m},25 \times 0^{m},13$. Le sulfate de cuivre ($CuO,SO^3$) employé ne devra pas contenir plus de 1,50 % de FeO,SO^3.

Les traverses sont amenées sur des wagonnets dans des cylindres en tôle où des pompes, actionnées par des machines à vapeur font alternativement le vide et la pression. On prépare de la même façon les poteaux télégraphiques et les planches en pin.

La quantité de CuO,SO^3, absorbée par $1^{m3},000$ de bois est d'environ :

7 kilogrammes pour les traverses,
8 » » poteaux de $7^{m},50$ et $9^{m},50$,
6 » » planches.

Ce qui fait ressortir le prix de revient, tout compris, de la préparation, à environ :

0 fr. 35 pour une traverse,
1 fr. 10 pour un poteau,
4 fr. 35 pour un mètre cube de planches en pin.

On estime que les frais généraux et la manutention entrent pour 1/5 dans la dépense totale, le CuO,SO^3 absorbant les 4/5.

Préparation à la créosote des traverses de chemin de fer en pin.— La créosote est de l'huile lourde provenant de la distillation des goudrons ($C^{14}H^8O^2$). Elle doit renfermer environ 8 % d'acide phénique et 25 % de naphtaline.

Après avoir enlevé le liber de la traverse, l'injection de la créosote, chauffée à 60°, se fait par le vide et la pression, qui sont obtenus au moyen de pompes. La vapeur n'est pas employée à l'intérieur des cylindres. Chaque traverse absorbe au moins 12 kilogrammes de

créosote. L'absorption doit se faire sur 3 centimètres au moins d'épaisseur. Le prix de revient est d'environ 1 fr. 20 par traverse, avec plus-value de 0 fr. 05 par kilogramme de créosote absorbée en plus de 12 kilogrammes.

Remarque. — L'injection ne se fait bien que dans les bois tendres. Une pièce doit être, autant que possible, homogène, car, si elle contient de l'aubier et du cœur, le cœur, s'injectant difficilement, se trouvera attaqué le premier, et la décomposition gagnera ensuite l'aubier. Le bois injecté avec Cuo, So^3 doit donner une coloration brunâtre avec une dissolution de cyanoferrure de potassium.

Débitage des bois.

Résultats d'expériences :

1° Une pièce de bois, contenant le cœur d'un arbre, est plus exposée à se fendre qu'une pièce qui ne le contient pas.

2° Quand une pièce de bois se fend par la dessiccation, les fentes se produisent toujours suivant les mailles.

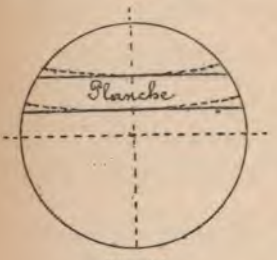


Fig. 94

Les *mailles* sont les plans qui passent par les rayons médullaires; ils sont plus poreux et plus hygrométriques que le reste.

3° Les planches perpendiculaires aux rayons médullaires, sont exposées à se voiler, à tirer à cœur.

Une planche coupée, comme dans la figure 94, prendra la courbure indiquée en pointillé.

On aime mieux enlever deux planches de part et d'autre du centre (fig. 95) qui ne travailleront pas, et scier ensuite dans le sens perpendiculaire. Ces dernières planches tendront à tirer à cœur sur la tranche, mais non sur la face de la planche.

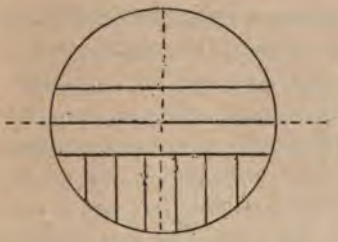


Fig. 95

Fig. 96

Le débitage suivant la figure 96, donne une bonne utilisation de la matière.

Pliage des bois.— Pour courber les bois, on profite de la propriété qu'ils ont de se ramollir sous l'influence de la chaleur et de la vapeur d'eau. On emploie l'étuve pour les fortes pièces. Le colonel Emy usa d'un moyen analogue pour la construction du manège de Libourne.

Durcissement des bois. — Le moyen le plus ancien consiste à imbiber les bois d'huile ou de graisse, et à les exposer à une chaleur modérée.

Produits ignifuges. — Pour rendre le bois incombustible, on le faisait bouillir dans une solution d'alun ou de vitriol vert (Feo, $So^3 + 7$ Ho).

On a remarqué que les bois imprégnés d'urine se consument très lentement.

On fait usage aujourd'hui des silicates de potasse ou

de soude (verre soluble) dont on badigeonne les bois à l'aide d'un pinceau. Sur trois couches données, la couche intermédiaire sera uniquement une couche de lait de chaux, ou tenant en mélange l'une des substances suivantes : craie, argile, ocre, brique, verre, quartz, sable, etc.

Bois de construction artificiel à base de terre cuite. — Composé de sciure de bois résineux + kaolin + eau. On en fait une bouillie comprimée au moyen de pistons, puis on passe à l'étuve. Après refroidissement lent, les blocs obtenus sont très résistants et se laissent parfaitement travailler. Leur poids est petit, et ils sont incombustibles. Des essais ont été faits en Amérique, où des maisons en sont construites. C'est l'utilisation des sciures qui encombrent les usines.

Bois de paille. — Les Américains fabriquent ce bois au moyen d'une série de feuilles de fort carton, réunies par un ciment imperméable à l'eau, puis moulées sous forme de planches.

Pavages en bois.

1° *Sur couche de sable.* — Employé pour les halles à marchandises des chemins de fer.

Pavés en bois tirés des vieilles traverses en pin sulfatées, retirées des voies.

On les plonge dans le coaltar bouillant, puis dans l'eau froide ; on a ainsi des pavés entourés d'une glaçure de coaltar. Ils se posent sur une forme en sable damée, et les joints sont remplis de sable fin.

2° *Sur béton* (procédé anglais). — Principe : établir sur une fondation rigide un revêtement imperméable formé de pavés en bois rendus solidaires. Les

trois points à réaliser sont : rigidité de la fondation, solidarité des pavés entre eux, étanchéité du revêtement.

Fondation — Couche de béton de ciment de Portland de 15 centimètres d'épaisseur, y compris un enduit en mortier de ciment de 1 centimètre. Ce béton est fabriqué en incorporant le ciment à un mélange de cailloux et de sable.

Pavage. — Pavés en sapin rouge créosotés de 15 centimètres d'épaisseur sur 22 de longueur, et 8 de largeur ; ils sont posés jointifs dans le sens de leur longueur. Les joints transversaux, de 8 à 10 millimètres, reçoivent un coulis de bitume à la partie inférieure et sont ensuite remplis de mortier de ciment de Portland.

Au bout de cinq jours, quand le mortier a fait prise, on répand une mince couche de gravier sec et anguleux.

On emploie aussi des pavés de pin sulfaté.

Résistance des bois. — Voir tableau à la résistance des matériaux.

Teinture des bois.

Pour que le bois prenne également la couleur, il faut le planer et le polir à la pierre ponce ; il doit être séché au préalable.

On emploie des matières minérales et des matières végétales.

Pour certains bois, il faut, au préalable, user de mordants tels que : chaux, acétate d'alumine, acétate de fer.

TEINTES A OBTENIR	MATIÈRES A EMPLOYER
Rouge	Rocou, garance, orcanette, orseille, bois de campêche, bois de Brésil, chaux, gomme adragante, cochenille, bichlorure de mercure + iodure de potassium.
Bleu	Tournesol, indigo, bois de campêche avec de l'oxyde de cuivre, azotate de cuivre, pyrolignite de fer, sels de fer + prussiate jaune.
Jaune	Gaude, rocou avec de la potasse, gomme gutte, curcumma, acétate de plomb + chromate de potasse.
Vert	Oxyde de cuivre, vert de gris + sel ammoniac + vinaigre.
Violet	Bois de campêche + alun, violet d'aniline.
Brun	Cachou.
Blanc	On décolore le bois au moyen de soude + hypochlorite de chaux + acide chlorhydrique.
Noir	Noix de galle, acide sulfurique et térébenthine, ou huile et acide sulfurique.

Caractères des principaux métaux employés dans la Construction.

Désignation	Caractères physiques	Variétés	Défauts	Propriétés caractéristiques	Combinaisons	Usages
Fer . .	Blanc, ductile, s'oxyde à l'air humide, se ramollit à la chaleur, se soude au blanc éblouissant vers 1500 à 1600°. Densité = 7,6 à 7,8 Fusion = 1500 à 1600° Le sable fin est employé comme fondant pour préserver les soudures contre les brûlures.	1° Fer à grains. 2° Fer à nerfs. 1° Fer au bois ou fer fin (fonte au bois affinée au bois). 2° Fer fort (fonte au bois puddlée). 3° Fer à la houille (fonte au coke puddlée).	Criques ou Geices, Travers, Doublures, Pailles, Cendrures.	La chaleur lui fait prendre des colorations diverses suivant la température. Chauffé au rouge vif il est transparent. *Soudures :* 1° Par amorces 2° En bout 3° Par encollage 4° En coins 5° En gueule de loup 6° Par lardons et rechargement.	Avec le carbone { Fonte. Acier. Il peut contenir S, Ph, Si, Cu Sn qui sont généralement nuisibles. Céments pour outils : Prussiate de potasse. Corne + salpêtre.	Fabrication de l'acier et de pièces cémentées. Fabrication du fer blanc, Machines, Serrurerie, Chaudronnerie.

Désignation	Caractères physiques	Variétés	Défauts	Propriétés caractéristiques	Combinaisons	Usages
Fonte.	Se moule bien, ne se forge pas. Résiste moins que le fer à l'extension. Densité = grise . 6,92 ; blanche 7,64 Fusion = 1100 à 1200°	Noire, Grise, Blanche, Truitée.	Soufflures, Piqûres, Retirures, Dartres, Bosses, Gouttes froides.	La fonte grise refroidie brusquement devient blanche; le carbone passe de l'état graphite à l'état de combinaison cristalline.	Peut contenir S, Ph, Si qui modifient les qualités de la fonte.	*Fonte noire :* Fabrication du fer et de l'acier. *Fonte grise :* Moulages, Machines. *Fonte blanche :* Articles de ménage. Fabrication du fer et de l'acier. *Fonte truitée :* Fabrication du fer et de l'acier. Moulages.
Fonte malléable.	Se travaille comme le fer.	»	»	S'obtient par la décarburation des pièces en fonte moulées.	»	Pièces de machines qui ne peuvent être en fonte et qui seraient trop coûteuses en fer.
	Grain plus fin que celui du fer. Cassure grise. Plus élastique et plus résistant que le fer mais plus cassant. Se	Naturel, Cémenté, Puddlé, Fondu	Mêmes défauts que le fer.	Susceptible d'un beau poli. La trempe le durcit, rend son grain plus fin et dimi-	Eau de trempe : $Ho + NaCl + AzH^3$, HCl.	Outils, Coutellerie, Ressorts, Machines.

	Densité = 7,80 Fusion = 1400 à 1500°			ses propriétés.		
Cuivre.	Rouge, mou, malléable et ductile, se forge à froid, ne se soude pas à chaud. Se moule mal Densité = 8,85 à 8,95 Fusion = 1050°.	»	»	S'oxyde peu à l'air. L'altération de la surface protège la masse.	Bronze avec l'étain. Laiton avec le zinc.	Chaudronnerie, Tuyaux, Doublure des navires.
Bronze	Jaune-rouge. Plus dur, plus sonore, moins malléable que le cuivre. Se moule bien. Densité = 8,69 Fusion = 900°.	Bronze doux Cu = 90 Sn = 10 Bronze dur. Cu = 80 Sn = 20 L'étain augmente la dureté. On ajoute quelquefois du Zn pour faciliter le moulage et un peu de fer pour augmenter la dureté.	»	Donne de bons frottements. Très sonore et très résistant.	»	*Bronze doux :* Robinets. *Plus dur :* Coussinets. *Dur :* Cloches. *Très dur :* Miroirs de télescope.
Laiton.	Jaune-clair, aigre. Se moule et se polit bien. Densité = 7,98.	Cu = 65 Zn = 35 On y ajoute quelquefois de l'étain et un peu de plomb.	Donne de mauvais frottements.	»	»	Pièces d'ornementation. Tubes de chaudières. Robinetterie commune.
plomb.	Blanc argenté, très mou, malléable. Densité = 11,35 Fusion = 325°.	»	»	S'oxyde très peu à l'air.	Avec l'étain il forme la soudure des plombiers et celle des ferblantiers.	Tuyaux, Couvertures.

Désignation	Caractères physiques	Variétés			Défauts			Propriétés caractéristiques	Combinaisons	Usages
		Numéros	Epaisseurs	Poids du mètre carré	Numéros	Epaisseurs	Poids du mètre carré			
			mill.			mill.				
Zinc . .	Blanc bleuâtre. Densité = 6,86 à 7,21 Fusion = 450°. Brûle à l'air.	9	0.41	2k90	18	1.36	9k35	Cassant à froid, malléable entre 100 et 150°. L'air l'oxyde à la surface.	Avec le cuivre il forme la soudure des chaudronniers	Couvertures. Galvanisation du fer.
		10	0.51	3.45	19	1.48	10.30			
		11	0.60	4.05	20	1.66	11.25			
		12	0.69	4.65	21	1.85	12.50			
		13	0.78	5.30	22	2.02	13.75			
		14	0.87	5.95	23	2.19	15.00			
		15	0.96	6.55	24	2.37	16.25			
		16	1.10	7.50	25	2.52	17.50			
		17	1.23	8.45	26	2.66	18.80			
Etain . .	Blanc clair, peu oxydable, très malléable. Densité = 7,29 Fusion = 230°.	»			»			Structure cristalline. Odeur.	»	Fabrication du fer blanc. Étamage. Métal à caractères.

Défauts des fers et des fontes.

Fers

1° *Criques ou gerces.* — Fentes qui se trouvent sur la surface du fer. Indiquent un fer mal travaillé et quelquefois brûlé.

2° *Travers.* — Vides à l'intérieur d'une pièce mal soudée à elle-même.

3° *Doublures.* — Vides intérieurs remplis de scories.

4° *Pailles.* — Ecailles superficielles provenant d'un défaut de soudure.

5° *Cendrures.* — Petites taches grises visibles au polissage. Proviennent d'un martelage insuffisant.

Fontes

1° *Soufflures.* — Cavités dans la pièce moulée dues à des bulles d'air.

2° *Piqûres.* — Petites soufflures répandues dans la masse.

3° *Retirures.* — Arrachements provenant d'un très grand retrait dû à l'emploi d'une fonte trop liquide. Ce défaut se manifeste au point d'attache de deux parties d'inégale épaisseur.

4° *Dartres.* — Rugosités à la surface de la pièce produites par du sable qui se détache à la coulée.

5° *Bosses.* — Saillies ou bosses produites par le sable qui a cédé dans le moule.

6° *Gouttes froides.*— Produites par la fonte coulée trop froide et qui se solidifie en entrant dans le moule.

PEINTURES

Peinture à la détrempe et à la colle. — Blanc de Meudon et colle de peau, eau ordinaire.

Le blanc de Meudon est écrasé dans l'eau, on laisse infuser deux heures, on ajoute du noir de fumée pour avoir la teinte voulue et on détrempe ensuite dans la colle chaude.

Peinture à la détrempe à la chaux. — La chaux mise en pâte est lavée, puis décantée; on ajoute la teinte, et on détrempe à la colle avec de l'alun.

Peinture à l'huile. — A l'intérieur, le blanc de zinc sera exclusivement employé; le blanc de plomb (céruse) sera réservé pour l'extérieur. Ces deux matières seront de première qualité sans mélange de matières étrangères, telles que $BaO.SO^3$ ou $PbO.SO^3$.

On emploie l'huile au lieu d'eau pour détremper. C'est de l'huile de lin, d'œillette ou de noix; l'huile bouillante s'emploie pour un mur neuf afin d'augmenter la pénétration. On gratte le mur, et on rebouche les trous avec de la céruse détrempée à l'huile. Ensuite les deux ou trois couches finales seront appliquées.

Composition des teintes:

Blanc. — Avec le blanc de Meudon, céruse, blanc de zinc;

Noir. — Avec le noir d'ivoire;

Jaune. — Avec l'ocre jaune, le jaune de chrôme;

Bleu. — Avec le cyanure double de fer;

Vert. — Avec le sous-acétate de cuivre;

Rouge. — Avec le minium ou le rouge d'Angleterre.

Par le mélange, on obtient une infinité de teintes.

Les teintes nettes et vives ne peuvent s'obtenir que par le mélange de deux couleurs simples.

Le spectre solaire ne contient que trois couleurs simples : rouge, bleu et jaune.

Aux couleurs à l'huile on mélange : oxyde de zinc, céruse, essence de térébenthine.

On fait des peintures au silicate de potasse composées de : blanc de zinc + essence de térébenthine + marbre en poudre + silicate de potasse (KO,SiO^2). Son emploi exige le lavage préalable avec H*cl*. (*Acide chlorhydrique ou muriatique.*)

Vernis. — Produit de la dissolution d'une résine dans des liquides facilement vaporisables.

Propriétés que doivent posséder les vernis. — 1° Rester brillants après dessiccation ; 2° se dessécher rapidement ; 3° Adhérer sans s'écailler ; 4° Résister longtemps sans s'altérer ni jaunir.

Siccatifs = Litharge, Sulfate de zinc ($ZnO.SO^3$). — Mélange d'huile de lin + oxyde de plomb + céruse + talc. — Dissolution de caoutchouc avec différentes résines comme le copal, cire, gutta, colophane, ou bien avec des huiles de térébenthine, d'aspic, pétrole, d'olive.

Mastic. — Le mastic de vitrier se compose de trois parties de blanc de Meudon + 1 de blanc de zinc en pâte. On ajoute l'huile de lin nécessaire, et on réduit le tout en pâte ferme par un broyage sur le marbre. (Voir mastics pour joints à la fin du volume).

Peinture des fers de construction. — Les coques en fer des navires sont attaquées par le minium de plomb ; il se produit une action galvanique.

Le minium de fer moins lourd et moins cher est employé de préférence.

La base du minium de fer est le colcothar ou peroxyde rouge de fer qui n'offre aucun danger de fabrication.

Procédés de Fondations.

SOL de fondation	TERRAIN à traverser	PRESSIONS à la base des maçonneries	EN DEHORS DES EAUX COURANTES		EN PLEINE RIVIERE	
			Profondeurs de fondation	Procédés à employer	Profondeurs de fondation	Procédés à employer
Incompressible et étanche (Rocher dur, tuf solide, argile très ferme, etc.)	Compressible et étanche (terre, argile, sable argileux, vase, etc.)	Ordinaires (1)	Jusqu'à 5m	Epuisements dans des fouilles ordinaires ou blindées.	Jusqu'à 8m	Lorsque le terrain étanche a une grande épaisseur : Epuisements dans des bâtardeaux et enceintes blindées. Lorsque l'épaisseur du terrain étanche est faible : Béton immergé après dragage.
			Au-delà de 5m	Pilotis après compression du sol ou massif en maçonnerie descendant graduellement.	Au-delà de 8m	Pilotis avec massif supérieur en béton.
		Fortes . . (2)	Jusqu'à 15m	Epuisements dans des fouilles blindées et des enceintes au-dessous de 10 mètres, diviser l'enceinte en puits blindés dont on réunit ensuite les massifs.	Jusqu'à 12m	Lorsque le terrain étanche a une grande épaisseur : Epuisements dans des bâtardeaux et enceintes blindées.
			Au-delà de 15m	Air comprimé dans des caissons.	Au-delà de 12m	Lorsque le terrain étanche est faible : Epuisements dans des caissons étanches.

Idem.	Affouillable (sable, gravier, etc.), ou compressible et perméable (terre sableuse, alternances de sable et d'argile, etc.).	Ordinaires	Jusqu'à 5m	Béton immergé après dragage.	Jusqu'à 8m	Béton immergé après dragage.
			Au-delà de 5m	Pilotis après compression du sol.	Au-delà de 8m	Pilotis avec massif supérieur en béton.
		Fortes.	Jusqu'à 10m	Epuisements avec bâtardeaux.	Jusqu'à 12m	Epuisements dans des bâtardeaux ou des caissons; ou bien béton de ciment immergé après dragage.
			Au-delà de 10m	Air comprimé dans des caissons.	Au-delà de 12m	Air comprimé dans des caissons
Incompressible et perméable (Gravier, cailloux, etc.)	Affouillable ou compressible et d'abord étanche puis perméable.	Ordinaires	Jusqu'à 5m	Béton immergé après dragage.	Jusqu'à 8m	Béton immergé après dragage.
			Au-delà de 5m	Pilotis après compression du sol.	Au-delà de 8m	Pilotis avec massif supérieur en béton.
		Fortes.	Jusqu'à 10m	Epuisements, puis dragages, béton de ciment immergé à la base, maçonnerie au-dessus.	Jusqu'à 12m	Bâtardeaux puis dragage, béton de ciment immergé à la base, maçonnerie au-dessus.
			Au-delà de 10m	Air comprimé dans des caissons.	Au-delà de 12m	Air comprimé dans des caissons.
Idem.	Affouillable ou compressible et perméable	Ordinaires	Jusqu'à 5m	Béton immergé après dragage.	Jusqu'à 8m	Béton immergé après dragage.
			Au-delà de 5m	Pilotis après compression du sol.	Au-delà de 8m	Pilotis avec massif supérieur en béton.
		Fortes.	Jusqu'à 10m	Béton de ciment immergé après dragage.	Jusqu'à 12m	Béton de ciment immergé après dragage.
			Au-delà de 10m	Air comprimé dans des caissons.	Au-delà de 12m	Air comprimé dans des caissons.

(1) Ordinaires : inférieures à 6 kilogrammes. | (2) Fortes : supérieures à 6 kilogrammes.

SOL de fondation	TERRAIN à traverser	PRESSIONS à la base des maçonneries	EN DEHORS DES EAUX COURANTES		EN PLEINE RIVIÈRE	
			Profondeurs de fondation	Procédés à employer	Profondeurs de fondation	Procédés à employer
Compressible (Vase compacte, argile, sable argileux, etc.)	Compressible (terre, argile, sable, argileux, vase, tourbe, etc.)	Ordinaires	Jusqu'à 20m	Pilotis après compression du sol avec massif supérieur en béton et large empatement.	Jusqu'à 20m	Pilotis avec massif supérieur en béton et large empatement.
			Au-delà de 20m	Air comprimé avec très large empatement.	Au-delà de 20m	Air comprimé avec très large empatement.
		Fortes.	»	Aucun mode de fondation ne peut donner de bons résultats dans ces terrains pour des ouvrages fortement chargés.	»	Aucun mode de fondation ne peut donner de bons résultats dans ces terrains pour des ouvrages fortement chargés.
				NOTA. — Dans toutes les fondations ci-dessus, si le terrain est submersible et affouillable, il faut défendre les fondations par des radiers et des revêtements perreyés.		NOTA. — Les fondations devront toujours être descendues au-dessous des plus grands affouillements connus, et si, à ce niveau, les terrains sont encore affouillables, il faudra défendre les fondations énergiquement par des enrochements.

Remarque. — Les règles de ce tableau ne doivent être interprétées que dans leur esprit général.

Il importe de se rendre compte de toutes les circonstances et de choisir le mode de construction qui s'applique le mieux à leur ensemble.

Dans les terrains tourbeux, on peut procéder par puits isolés que l'on fonce par l'emploi du rouet chargé de maçonnerie ou bien par caissons à l'air comprimé, pour les grandes profondeurs.

Si le terrain doit supporter des piliers, il pourra être avantageux de transmettre la pression au sol par des voûtes renversées en forme de radier.

Battage des pieux et palplanches. — Moyens employés : Sonnettes à tiraudes, sonnettes à déclic, sonnettes à vapeur (Système Nasmith et système Lacour).

Le système à vapeur Lacour est très employé : le piston est fixe et repose sur la tête du pieu, c'est le corps de pompe qui fait fonction de mouton. Le poids du corps de pompe est de 1.500 kilogrammes au maximum et la course peut aller à près de 2 mètres. (Construction de la nouvelle gare de Bordeaux-1891).

Dans le travail de battage, en général, il y a deux effets distincts ; 1° Une partie du travail moteur est absorbée par le frottement du pieu contre le terrain ; 2° il se produit une désagrégation des fibres du bois, des vibrations qui vont se perdre dans le sol et qui consomment une certaine quantité de travail.

Cet effet nuisible est atténué par les moyens suivants : 1° En entourant la tête du pieu par une frette en fer, et en protégeant sa pointe par un sabot métallique ; 2° La perte de force vive est diminuée en augmentant la masse du mouton par rapport à celle du pieu. Ce qui explique la préférence qu'on accorde aux

sonnettes à déclic sur celles à tiraudes, et à celles à vapeur sur celles à déclic.

Arrachage des pieux. — En terrain sec, on fait souvent usage de vérins ou de treuils différentiels exerçant leur effort de part et d'autre d'une tige horizontale amarrée à la tête frettée du pieu.

En rivière, on utilise la puissance des crues.

Dans ce dernier cas, on amarre solidement le pieu à un chaland.

S, étant la surface horizontale mouillée du chaland, *h*, la hauteur de la crue au-dessus des eaux ordinaires, l'effort de traction sera S*h* en tonnes.

Il est facile de réaliser ces conditions sans l'intervention de la crue, en lestant suffisamment le bateau. L'effort sera égal au lest retiré.

Fondations à l'air comprimé

M. Triger employa le premier l'air comprimé en 1840 pour exécuter des sondages dans une couche de sable aquifère sur la Loire.

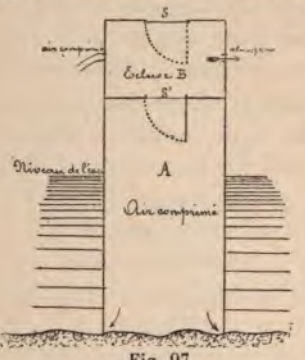


Fig. 97

Principe.— Dans un tube en tôle A est injecté de l'air comprimé qui en chasse l'eau et permet d'y descendre et d'y travailler.

Ce tube est surmonté d'une écluse B qui peut communiquer avec l'atmosphère ou avec l'air comprimé, afin d'assurer par le jeu de robinets l'entrée et la sortie des ouvriers et des matériaux.

L'écluse étant en communication avec l'atmosphère, la soupape S' est fermée, appliquée sur son siège par la pression inférieure. L'écluse étant en communication avec l'air comprimé, la soupape S' s'ouvre par son propre poids, tandis que S est fermée par la pression.

A ce moment, l'écluse et le tube communiqueront.

Si l'arrivée de l'air comprimé à l'écluse est supprimée, et la communication avec l'air libre établie, la soupape S s'ouvrira.

Deux genres de fondation à l'air comprimé :

1° Par puits isolés ;

2° Par caissons.

1° *Par puits isolés.*— Pont de Szeguedin.— Pont de Bordeaux. — Pont d'Argenteuil. — Pont de Sens.

Pont de Bordeaux. — Les piles sont formées chacune de deux tubes en fonte de $3^m,60$ de diamètre sur 4 centimètres d'épaisseur remplis de maçonnerie.

La descente des tubes pendant le fonçage s'effectuait à l'aide de quatre presses hydrauliques solidement fixées sur l'échafaudage, qui transmettaient leur action à un joug s'appuyant sur la colonne. Avant le bétonnage, le tube s'étant rempli d'eau, la pression brusque de l'air comprimé fit casser les tiges des presses et le tube sauta à 4 mètres de hauteur. Ce système n'est plus employé.

Les tubes sont fondés dans une couche de gravier rencontrée à 15 mètres au-dessous des basses eaux.

Pont d'Argenteuil. — Les tubes comprennent une cheminée intérieure en tôle terminée par un tronc de cône à la base servant de chambre de travail. La cheminée centrale sert au passage des ouvriers et des bennes.

L'espace annulaire est rempli de béton au fur et à

mesure de la descente pour former la charge remplaçant les presses hydrauliques du pont de Bordeaux.

Chaque pile se compose de deux tubes réunis par des armatures en fer.

2° *Par caissons.* — Pont de Kehl sur le Rhin. — Pont du Scorff à Lorient.

Plus économique que les puits isolés pour des fondations importantes.

Avec les caissons, toute la pile se fait d'une seule fois, et l'espace plus grand permet d'employer un plus grand nombre d'ouvriers. Les caissons sont entièrement en tôle.

Ils sont employés couramment dans les travaux des ports. (Quais verticaux de Bordeaux-1892.)

MURS

Murs isolés

Formule de Rondelet :

$$e = \frac{1}{8} h.$$

On emploie aussi la formule :

$$e = \frac{1}{4} \sqrt{h}.$$

Murs soutenant un édifice

Formule de Rondelet :

$$e = \frac{lh}{12\sqrt{l^2 + h^2}}$$

l = largeur du bâtiment ; h = hauteur du mur.

Les formules ne sont pas en parfaite concordance avec la pratique.

ÉPAISSEURS DES MURS EN USAGE
DANS LES CONSTRUCTIONS ORDINAIRES

DÉSIGNATION des parties du mur	MURS		HAUTEUR D'ÉTAGE
	de face	de refend	
Aux fondations . . .	0m75 à 1m00	0m70 à 0m85	
Au niveau du sol des caves	0.55 à 0.80	0,50 à 0,65	
Au rez-de-chaussée . .	0,50 à 0.65	0.35 à 0.40	
Au-dessus des planchers :			
du 1er étage. . .	0.45 à 0.55	0,35 à 0.40	3m25 à 5m00
du 2e étage. . .	0.40 à 0.50	0.30 à 0,35	3.00 à 4.25
du 3e étage. . .	0.32 à 0.40	0,25 à 0,30	2.80 à 3.50

ÉPAISSEURS DES MURS AU REZ-DE-CHAUSSÉE

	MURS		
	de face	mitoyens	de refend
1° Des bâtiments plus importants que les maisons d'habitation . .	0m65 à 1m00	0m55 à 0m65	0m40 à 0m55
2° Des palais ou édifices voûtés au rez-de-chaussée	1 20 à 2.50	1.00 à 1.50	0.70 à 1.20

Murs de soutènement

Extrait en partie d'une étude de M. Gobin, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Q = Poussée des terres contre le mur.

π = poids du mètre cube de terre.

φ = angle du talus naturel des terres; est égal à 45°, 30° ou 20°.

MUR A PAREMENT INTÉRIEUR VERTICAL

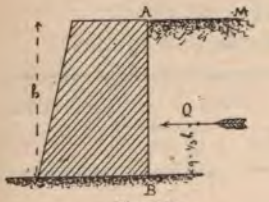


Fig. 98

1° Terre-plein horizontal AM.

$$Q = \frac{1}{2}\pi h^2 \times \text{tg.}^2 \left(\frac{90° - \varphi}{2}\right)$$

2° Terre-plein horizontal AM supportant une surcharge p uniforme par mètre carré.

$$Q = \frac{1}{2}\pi h^2 \,\text{tg}^2 \left(\frac{90° - \varphi}{2}\right)\left(1 + \frac{2p}{\pi h}\right)$$

Surcharge occasionnée par le passage des trains de chemins de fer. — La surcharge à appliquer pour les murs de soutènement des chemins de fer est de

2.000 kilogrammes par mètre carré, tenant compte du poids des voies et du passage des machines.

3° Cas où la poussée est produite par l'eau.

$$Q = 500 h^2.$$

Direction de la poussée. — La poussée d'un terre-plein contre un parement vertical est horizontale, le terre-plein fût-il incliné.

Point d'application de la poussée :

1° Terre-plein horizontal sans surcharge.

$$q = \frac{1}{3} h.$$

2° Terre-plein horizontal supportant une surcharge p uniforme par mètre carré.

$$q = \frac{h}{3} \times \left(\frac{h + \frac{3p}{\pi}}{h + \frac{2p}{\pi}} \right)$$

Etude des profils des murs

Avantage du fruit extérieur. — La stabilité sera augmentée car le moment de la poussée restant le même les moments des résistances seront augmentés, savoir :

1° Le moment du poids aura un bras de levier plus grand, l'arête de rotation venant de C en C', et le centre de gravité ne se déplaçant pas vers la gauche de cette quantité.

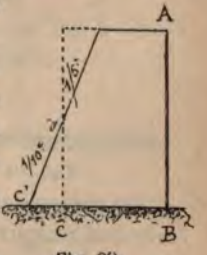


Fig. 99

2° Le moment de l'arrachement proviendra d'une section plus grande de CC'.

3° Le mur se trouvera dans de meilleures conditions de résistance puisque son épaisseur augmente graduel-

lement à mesure que s'accroît la poussée sur son parement intérieur.

Avantages du fruit intérieur. — La section restant équivalente en remplaçant AB par A'B', la stabilité est augmentée, savoir :

Fig. 100

1° Le moment du poids du mur sera augmenté, le centre de gravité se trouvant reporté à droite.

2° La résistance à l'arrachement deviendra plus grande, la base augmentant de BB'.

3° Le poids du triangle de terre A'B'M s'opposera au renversement du mur. Ce triangle peut être considéré comme faisant corps avec le mur.

Avantage des redans intérieurs (fig. 101). — Les terres de AA'DD' s'opposent au renversement du mur. Ces terres peuvent être considérées comme faisant corps avec le mur.

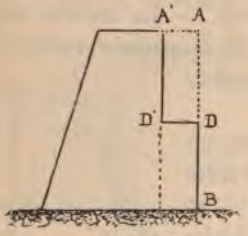


Fig. 101

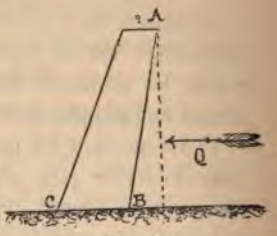


Fig. 102

Avantages des murs en surplomb (fig. 102). — Le mur doit remplir la condition indispensable de se tenir debout de lui-même. Pour cela, il suffit que la verticale de son centre de gravité tombe à gauche de B.

1° Le centre de gravité du mur est reporté vers la droite, ce qui augmente le moment du poids du mur *par rapport* à l'arête de rotation C.

2° La poussée sur le mur diminue de plus en plus à mesure que le parement s'incline ; elle deviendrait même nulle si AB avait l'inclinaison du talus naturel.

$$Q = \frac{1}{2}\pi h^2 \times \text{tg.}^2\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right)(1 - \text{tg.}\,\theta \times \text{tg.}\,\varphi)$$

θ = angle du parement intérieur AB avec la verticale.

φ = angle du talus naturel des terres.

Avantages des murs courbes en surplomb. — Ils réalisent une grande économie de maçonnerie en permettant d'adopter un surplomb plus considérable qu'avec un mur plan.

Dans ces murs, le surplomb va en augmentant à mesure qu'on descend vers la base du mur. Les joints doivent être à peu près normaux à la résultante du poids de la maçonnerie supérieure et de la poussée des terres, et la pression sur chaque joint ne doit pas dépasser un maximum donné.

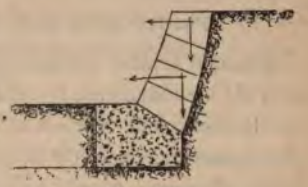


Fig. 103

Il est indispensable que le remblai soit fait avec des matériaux non susceptibles de se tasser.

Remblai compris entre deux murs à parements intérieurs verticaux.— Poussée sur chacun des murs.

$$Q = \frac{1}{2}\pi h^2 \times \text{tg.}^2\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right)$$

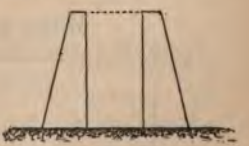


Fig. 104

appliquée au 1/3 de la hauteur à partir de la base.

Pour les murs de tympans des ponts, si on les fait d'épaisseur réduite, il faut remblayer avec des maté-

riaux poussant peu, ou bien les rendre solidaires en les réunissant par des tirants en fer.

Epaisseurs des murs de soutènement.

Formules empiriques :

Murs à fruit extérieur. — 1° Sans surcharge.

Epaisseur au sommet $b' = 0{,}09\,h + 0{,}50$
» à la base $b = b' + 1/5\,h$.

2° Avec surcharge p par mètre carré :

Epaisseur au sommet $b' = 0{,}09\,h + 0{,}50 + 0{,}75\,\frac{p}{\pi}$
» à la base $b = b' + 1/5\,h$.

Murs à parements verticaux. — $e = 1/3$ h.

Projet d'un mur de soutènement

Avant d'arrêter définitivement les dimensions d'un mur de soutènement, il sera nécessaire d'en déterminer le coefficient de stabilité (rapport entre la somme des moments résistants et des moments renversants), et de s'assurer graphiquement que la pression à la base ne dépasse pas la limite permise.

Pour un terre-plein horizontal sans surcharge, la poussée sera appliquée au $\frac{1}{3}$ de la hauteur à partir de la base. Elle sera toujours supposée horizontale dans tous les cas.

Murs avec contreforts.

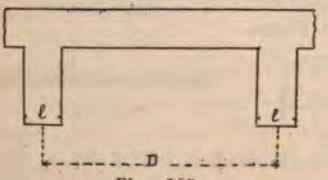


Fig. 105

Les contreforts intérieurs sont moins avantageux que les contreforts extérieurs.

Formules de M. Leygue pour l'établissement des contreforts extérieurs :

Largeur des contreforts $l = 0{,}50 + 0{,}05\,h$.

Distance entre axes $D = 5\,l$.

Epaisseur du masque : le praticien prend en général cette épaisseur égale au 1/4, 1/5 ou 1/6 de la hauteur h du mur.

Stabilité des murs

Un mur isolé doit résister à l'effort du vent que l'on suppose de 300 kilogrammes par mètre carré au maximum.

La résultante de cet effort et du poids du mur doit passer dans le 1/3 central de la base de ce mur.

Un mur de soutènement se trouve dans de bonnes conditions quand la résultante de la poussée et de son poids passe dans le 1/3 central de la base.

Il faut CD > 1/3 CB.

La partie de la base intéressée à la pression R est trois fois CD à partir du point C.

Si R tombe dans le 1/3 extrême du côté de C, il y a une partie de la base du côté de B, qui ne contribue pas à la résistance du mur.

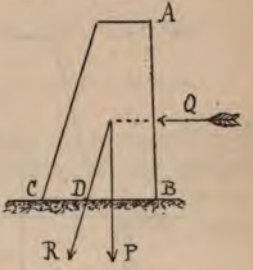


Fig. 106

Stabilité des murs supportant des réservoirs d'eau cylindriques

Il faut faire entrer en ligne de compte : la pression du vent, le poids du réservoir et des maçonneries.

L'effort du vent sur une surface cylindrique est pris égal à 150 kilogrammes par mètre carré de projection verticale de la surface considérée (moitié de la pression sur une surface verticale plane.)

La stabilité des cheminées se déterminera de la même façon en employant le calcul et le procédé graphique.

Etude de la stabilité d'un mur a fruit extérieur.

Inutile de se préoccuper du glissement du mur sur sa base de fondation CB, ni du glissement des fondations sur la terre, ces deux efforts étant toujours vaincus en pratique.

1° *Ecrasement.* — Quand R rencontre la base à une distance d de l'arête C moindre que la moitié de b, la pression ira en augmentant à mesure qu'on se rapproche de C où elle est maximum.

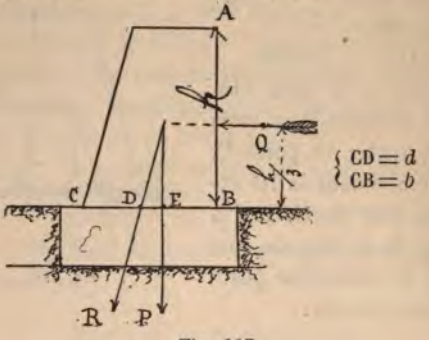


Fig. 107

D'après Bélanger, ce maximum est donné par les relations :

1° $d < \frac{b}{3}$ Pression maximum en C $= \frac{2\,P}{3\,d}$.

2° $d > \frac{b}{3}$ Pression maximum en C $= \frac{2\,P}{b}\left(2 - \frac{3\,d}{b}\right)$

(*P étant la* composante normale de R).

2° *Rotation autour de l'arête C.*

La poussée Q aura à vaincre pour produire cette rotation :

L'arrachement de la section CB qui aura pour moment :

$$t \times \frac{CB^2}{2}.$$

$t =$ 1 kilogramme par centimètre carré de section.

La résistance due à P dont le moment est :

$$P \times CE.$$

Le frottement des terres contre la face AB dont le moment est :

$$f \times Q \times CB.$$

$f =$ coefficient de frottement de terre contre mur ou terre contre terre.

Pour que le mur ne tombe pas on aura donc :

$$Q \times \frac{h}{3} < \frac{\overline{CB}^2 \times t}{2} + P \times CE + fQ \times CB.$$

Dans la pratique, on se donnera le coefficient de stabilité d'après le degré de garantie que doit présenter la construction et le degré d'incertitude que présente la qualité des matériaux. Si on veut que ce rapport soit égal à K, on aura :

$$K \times Q \frac{h}{3} = \frac{\overline{CB}^2 \times t}{2} + P \times CE + fQ \times CB.$$

Application numérique.

Données :

Poids du mètre cube de maçonnerie = 2500 kilogrammes.

$\pi = 1600$ kilcg., $\varphi = 40°$, $f = \text{tg. } 40° = 0{,}84$,

$t =$ 1 kilogr. par $c^2 =$ 10000 kilogrammes.

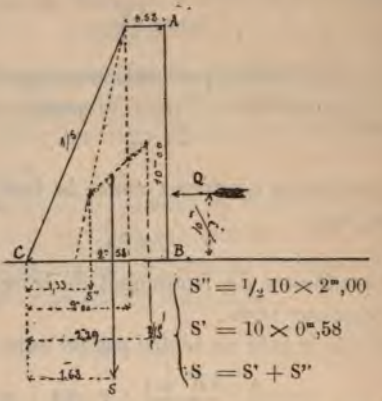
$$P = \frac{2{,}58 + 0{,}58}{2} \times 10 \times 2500 \text{ kilogr.} = 39500 \text{ kilogrammes.}$$

$$Q = \frac{1}{2} \pi h^2 \text{tg.}^2 \left(\frac{90° - \varphi}{2}\right) = \frac{1}{2} 1600 \times 100 \times \text{tg.}^2 25° = 17395^k.$$

Coefficient de stabilité :

$$K = \frac{\frac{\overline{2,58}^2 \times 10000}{2} + 39500^k \times 1,68 + 0,84 \times 17395^k \times 2,58}{17395 \times \frac{10}{3}} = 2,37.$$

Fig. 108



Consolidation des talus de chemins de fer.

On emploie les moyens suivants :

1° Semis et plantations, fascinages. Emploi du ray-grass, luzerne, sainfoin, ajonc, genêt, acacia, branches de saule dans les talus des dérivations.

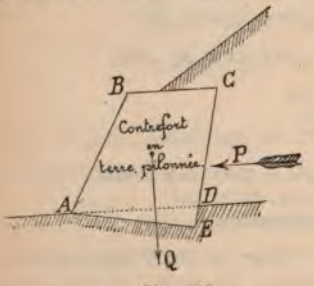


Fig. 109

2° Murs de soutènement. (Voir cet article). Perrés que l'on dispose quelquefois en forme de voûtes.

3° Contreforts en terre pilonnée.

La poussée des terres P a pour effet de faire glisser le contrefort suivant EA, ou dans le cas le plus défavorable suivant DA.

La résistance opposée par le contrefort se compose du frottement et de la cohésion qui s'exercent, dans le cas le plus défavorable suivant la surface DA.

La cohésion par m^2 peut être prise égale à 1950 kilogrammes au minimum et le frottement à 0,70 au minimum.

$$\text{Résistance : } R = Q \times 0{,}70 + AD \times 1950.$$

Q = poids du contrefort par mètre courant.

AD = surface horizontale du contrefort à la base, par mètre courant, en mètres carrés.

La condition de stabilité est la suivante :

$$R > P.$$

4° Drainages. — Sont établis pour recueillir les eaux des bancs de suintements.

Formés de pierrailles reposant sur un radier en maçonnerie ou sur une cuvette en briques recevant l'eau.

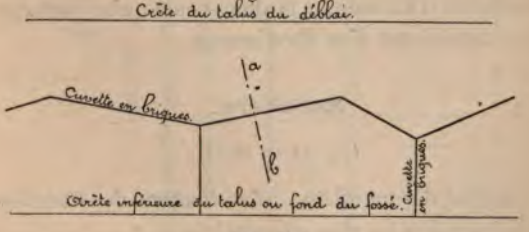


Fig. 110

Un talus de tranchée sur lequel se trouve établi un système de drains en cuvettes en briques présente l'aspect du schéma figure 110.

La coupe d'un drain est représentée par la fig. 111.

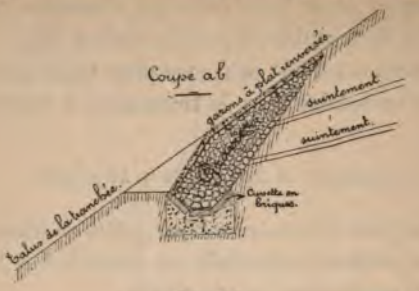


Fig. 111

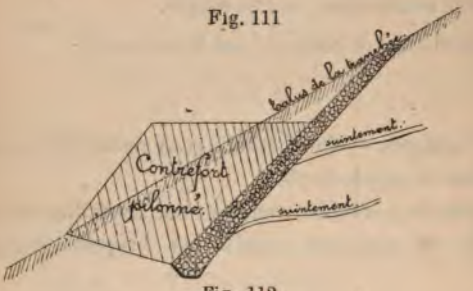


Fig. 112

La figure 112 indique la disposition qu'on peut employer dans le cas d'un éboulement.

Escaliers.

$$l + 2h = 0^m,64.$$

l = largeur des marches, h = hauteur des marches.

Les hauteurs les plus convenables sont :

	$0^m,16$	$0^m,17$	$0^m,18$
et	$0^m,32$	$0^m,30$	$0^m,28$

les largeurs correspondantes.

PLANCHERS

1° Planchers en bois.

SOLIVES DE CHAMP. — CHARGES ORDINAIRES

PORTÉE des solives	MINIMUM D'ÉQUARRISSAGE POUR DES ÉCARTEMENTS D'AXE de					OBSERVATIONS
	0m,50	0m,70	0m,80	0m,90	1m,00	
3m,00	0,15 × 0.11	0.17 × 0 12	0.17 × 0,12	0.18 × 0.13	0.19 × 0.14	Pas pratique au delà de ces dimensions.
4m,00	0.18 × 0.13	0.20 × 0.14	0.21 × 0.15	0.22 × 0.16	0.24 × 0.17	
5m,00	0.21 × 0.15	0.24 × 0.16	0.25 × 0.17	0.26 × 0.18	0.27 × 0.19	
6m,00	0.23 × 0.17	0.26 × 0.18	0.27 × 0.19	0.28 × 0.20	0.29 × 0.21	
7m,00	0 25 × 0.18	0.29 × 0.20	0.30 × 0.21	0.31 × 0.22	0.32 × 0.23	

POUTRES. — CHARGES ORDINAIRES

PORTÉE des poutres	ESPACEMENT des poutres	ÉQUARRISSAGE des poutres	OBSERVATIONS
3m,00	3m,00	0.27×0.19	Pas pratique au-delà ; emploi des poutres armées suspendues, ou poteaux.
3m,00	4m,00	0.29×0.21	
4m,00	3m,00	0.33×0.23	
4m,00	4m,00	0.36×0.26	
5m,00	3m,00	0.37×0.26	
5m,00	4m,00	0.43×0.30	

COLONNES CREUSES EN FONTE

RAPPORT $\frac{L}{D}$	DIAMÈTRE extérieur	ÉPAISSEUR de la fonte	OBSERVATIONS
25 à 50	0m,12	10 à 15m/m	Ces dimensions sont celles généralement admises en fonderie.
25 à 50	0m,14	12 à 16	
23 à 50	0m,15	13 à 19	
22 à 50	0m,16	14 à 20	
22 à 50	0m,18	15 à 24	
20 à 50	0m,20	15 à 26	
18 à 45	0m,22	16 à 27	
18 à 40	0m,25	16 à 28	
17 à 37	0m,30	19 à 30	
17 à 34	0m,35	21 à 32	

Application numérique :

Calculer la section rectangulaire des poutres d'un plancher, sachant qu'elles sont en chêne, au nombre de six, écartées de 3m,25 d'axe en axe, qu'elles ont une longueur de 6 mètres, et que la charge du plancher est évaluée à 600 kilogrammes par mètre carré.

Surface du plancher supportée par chaque poutre = 6 mètres × 3.25 = 19m²,50.

Charge correspondante $= 19^{m^2},50 \times 600$ k. $= 11.700$ kilogrammes qui doit être regardée comme uniformément répartie sur la poutre considérée par l'intermédiaire des solives :

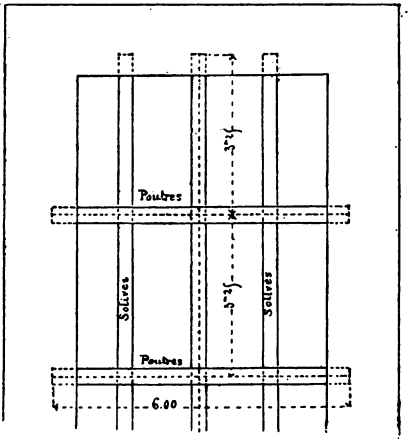


Fig. 113

$$M = \frac{Rl}{V} = \frac{\frac{R \times bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{pa^2}{8} \quad \text{ou} \quad \frac{Rbh^2}{6} = \frac{pa^2}{8}.$$

$R = 0^k,7 \times \overline{10^6}$ pour le chêne environ.

(Voir le tableau à la *Résistance des Matériaux*).

Si $\frac{b}{h} = \frac{5}{7}$

on a : $h = 0,47$ $b = 0,34$.

Flèche : $f = \frac{5pa^4}{384 \times EI} = 0^m,009$.

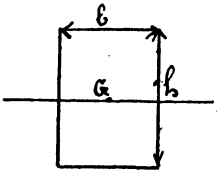


Fig. 114

Vérification des sections extrêmes. — Les bouts travaillent au cisaillement.

L'effort tranchant aux extrémités :

$$\frac{pa}{2} = 5850 \text{ kilogr.} \qquad R_c = 0^k,7 \times 10^6.$$

Section nécessaire :

$$\omega = \frac{\frac{pa}{2}}{R_c} = \frac{5850}{700000} = 0^{m2},008367.$$

La section trouvée $0,47 \times 0,34 = 0^{m2},1598$ est donc suffisante.

Moyen de tirer le meilleur parti d'un arbre au point de vue de la résistance de la pièce

Le maximum de résistance correspond au rapport $\frac{b}{h} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

Prendre AB' = AB ; joindre B' à O, et construire le rectangle du point C.

En effet :

$$\frac{b}{h} = \frac{OE}{CE} = \frac{OA}{AB'} = \frac{R}{R\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

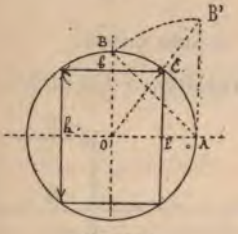


Fig. 115

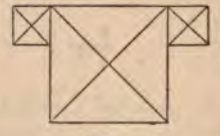


Fig. 116

Remarque importante. — Le bois résiste moins à la compression qu'à l'extension ; il y aura donc intérêt à adopter une forme en T, ou bien la figure 116.

2° Planchers en fer.

Les poutres en fer seront calculées d'après les formules de résistance.

Chaque usine possède un album de fers à double T pour planchers avec des tableaux indiquant pour chaque profil : le poids du mètre courant, la charge qui peut être supportée avec sécurité et les éléments du calcul tels que les valeurs de $\frac{I}{V}$ et de R.

Spécimen de tableau pour des poutres a I reposant sur deux appuis et uniformément chargées

Dans le cas d'une charge unique placée au milieu, il ne faudra prendre que la moitié des charges du tableau.

FORMULES :

$$\frac{RI}{V} = \frac{p.l^2}{8}$$

(Charge uniformément répartie p)

$$\frac{RI}{V} = \frac{P.l}{4}$$

(Charge unique au milieu $P = pl$)

p = charge uniformément répartie qui peut être supportée par mètre courant de poutre.

l = portée de la poutre.

R = coefficient pratique de sécurité = 6,8 ou 10 kilogr. par millimètre carré au maximum.

I = moment d'inertie de la poutre.

V = distance de la fibre neutre à la fibre la plus fatiguée.

Cas particuliers.

Charge unique P en un point quelconque :

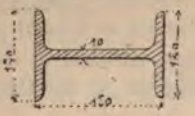
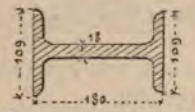
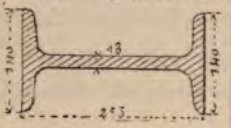
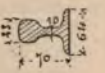
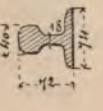
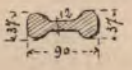
$$\frac{RI}{V} = \frac{P l' l''}{l}$$

$l' + l'' = l$

l' et l'' distances de P aux points d'appui.

Pour $l' = \frac{1}{4} l$, $\frac{RI}{V} = \frac{3}{16} Pl$ Prendre les $\frac{2}{3}$ des charges du tableau

Pour $l' = \frac{1}{3} l$, $\frac{RI}{V} = \frac{2}{9} Pl$ Prendre les $\frac{9}{16}$ »

PROFILS	POIDS du mètre courant	VALEURS de $\frac{I}{V}$	VALEUR de R
Fig. 117 	36k,000	0,000.270.903	6 8 10
Fig. 118 	45k,000	0,000.271.400	6 8 10
Fig 119 	75k,000	0,000.744.313	6 8 10
Fig. 120	8k,400	0,000.015.02	6 8 10
Fig. 121 	12k,750	0,000.026.78	6 8 10
Fig. 122 	20k,000	0,000.037.63	6 8 10
Fig. 123 	15k,000	0,000.040.46	6 8 10
Fig. 124	20k,000	0,000.058.8	6 8 10

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES p
correspondant aux trois coefficients de sécurité 6, 8 et 10 kilogrammes
pour des portées de 2 à 8 mètres

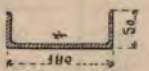
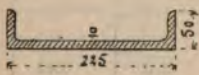
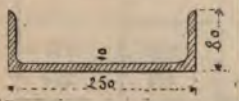
2m,00	3m,00	4m,00	5m,00	6m,00	7m,00	8m,00
6.502	4.334	3.251	2.600	2.167	1.858	1.625
8.669	5.779	4.334	3.467	2.889	2.477	2.167
10.836	7.224	5.418	4.334	3.612	3.095	2.709
6.513	4.342	3.256	2.605	2.171	1.861	1.628
8.690	5.790	4.342	3 474	2 895	2.481	2.171
10.856	7.237	5.428	4.342	3 613	3.102	2.714
18.663	12.442	9.332	7.465	6.221	5.332	4.666
23.816	15 878	11.909	9.527	7.939	6.805	5 954
37.772	25.181	18.886	15.109	12.591	10.792	9.443
360	240	180	144	120	102	90
480	320	240	192	160	137	120
600	400	300	240	200	171	150
642	428	321	257	214	183	160
806	571	428	342	285	244	214
1.071	714	535	428	357	306	268
903	602	451	361	301	258	226
1.204	802	602	481	401	344	301
1.505	1 003	752	602	501	430	376
971	647	485	388	323	277	243
1.295	863	547	518	431	370	323
1.618	1,078	809	647	539	462	404
1.411	940	705	564	470	403	353
1.881	1.254	941	752	627	537	470
2.352	1 568	1.176	941	784	672	588

SPÉCIMEN DE TABLEAU POUR DES FERS A [

ET UNIFORMÉMENT

Dans le cas d'une charge unique placée au milieu, il n

(Les formules sont les mêmes

PROFILS	POIDS du mètre courant	VALEURS de $\frac{I}{V}$	VALEURS de R
Fig. 125	5k,000	0,000.011.80	6 8 10
Fig. 126 	14k,000	0,000.077.07	6 8 10
Fig. 127 	26k,000	0,000.204.92	6 8 10
Fig. 128 	32k,000	0,000.287.47	6 8 10

faudra prendre que la moitié des charges du tableau. que celles du tableau précédent).

CHARGES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES p
correspondant aux trois coefficients de sécurité, 6, 8 et 10 kilogrammes
pour des portées de 2 à 8 mètres

2m,00	3m,00	4m,00	5m,00	6m,00	7m,00	8m,00
284	189	142	113	94	81	»
378	252	189	151	126	108	»
472	315	236	189	158	135	»
1.850	1.233	925	740	617	529	463
2.467	1.644	1.233	987	822	705	617
3.083	2.055	1.542	1.233	1.028	881	771
4.918	3.279	2.459	1.967	1.640	1.405	1.230
6.558	4.372	3.279	2.623	2.186	1.873	1.640
8.197	5.465	4.090	3.279	2.732	2.342	2.049
6.899	4.600	3.450	2.760	2.300	1.971	1.725
9.199	6.133	4.600	3.680	3.067	2.628	2.300
11.499	7.666	5.750	4.600	3.833	3.285	2.875

COMPARAISON D'UN PLANCHER EN BOIS AVEC UN PLANCHER EN FER DE 10m,50 DE LARGEUR

DÉTAILS	PORTÉES SUCCESSIVES DE							
	3m,00		4m,00		5m,00		6m,00	
	Plancher en bois	Plancher en fer	Plancher en bois	Plancher en fer	Plancher en bois	Plancher en fer	Plancher en bois	Plancher en fer
Surface du plancher	31m²,50	31m²,50	42m²,00	42m²,00	52m²,50	52m²,50	63m²,00	63m²,00
Cube total du bois ou poids total du fer	1m³,920	705k	2m³,800	981k	4m³,110	1333k	7m³,950	2708k
Cube du bois ou poids du fer par mètre carré	0m³,061	22k,400	0m³,070	23k,400	0.080	26k,400	0.130	42k,900
Prix par mètre carré de plancher sans parquet	11f,85	14f,70	12f,85	15f,20	14f,15	16f,75	20f,60	25f,05
Epaisseur du plancher	0.25	0.14	0 27	0.16	0.30	0.16	0.35	0.18
Poids du mèt. carré de plancher	158k	189k	167k	193k	180k	196k	224k	211k

NOTA. — Le prix du stère de bois est supposé de 100 francs et celui des 100 kilogrammes de fer de 50 francs.

Poutres armées.

1er *Cas.* — Poutres a deux travées égales.

Calcul de la contrefiche CD.

$$\text{Compression Q} = \frac{5}{8} pa.$$

On prend généralement : $CD = \frac{a}{6}$.

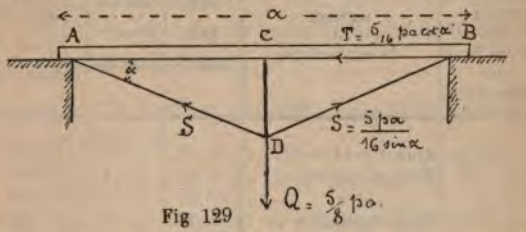


Fig 129

Calcul des tirants DA, DB, qui ont pour effet de maintenir la poutre droite quand elle est chargée.

$$\text{Tension } S = \frac{5pa}{16 \sin. \alpha}.$$

Calcul de la poutre ; le moment fléchissant maximum a lieu au milieu

$$M = \frac{1}{32} pa^2, \quad R = \frac{VM}{I} + \frac{T}{\omega} = \frac{V}{I} \times \frac{pa^2}{32} + \frac{5\, pa \cot. \alpha}{16\, \omega}$$

2e *Cas.* — Poutres a trois travées égales.

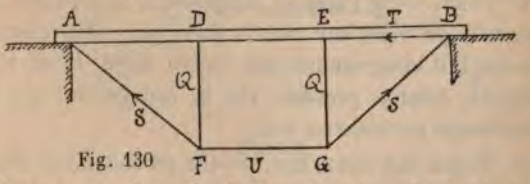


Fig. 130

La compression Q des contrefiches est égale à la réaction en D et E.

Les équations d'équilibre des points F, G donneront les tensions S, U et la tension T de la poutre.

Le moment maximum a lieu aux points D, E.

COMBLES

POIDS approximatif des couvertures par mètre carré	GENRE de couverture	PENTE par mètre	ANGLE correspondant	DÉVELOPPEMENT correspondant
7 kilogr.	Zinc Nos 14 et 16. .	0m,15	8°,5	1m,011
8 »	Tôle galvanisée . .	0m,20	11°,5	1m,020
8 »	id. . .	0m,25	14°	1m,030
85 »	Tuile mécanique . .	0m,30	16°,5	1m,044
85 »	id. . .	0m,40	21°,5	1m,070
35 »	Ardoises grandes . .	0m,60	31°	1m,166
30 »	Ardoises petites . .	0m,80	39°,5	1m,280
70 »	Tuile ordinaire plate.	1m,00	45°	1m,414

Surcharges.—1° NEIGE.— Densité = 0,1. A Paris, on suppose un maximum de 25 centimètres de neige, équivalant à un poids de 25 kilogrammes par mètre carré.

2° VENT. — A Paris, on suppose que la pression horizontale du vent, sur une surface verticale, peut atteindre 100 kilogrammes par mètre carré. Il ne faut compter, comme pressant sur la couverture, que la composante normale au toit.

3° POIDS DES OUVRIERS. — On prévoit de ce chef, 25 kilogrammes par mètre carré.

Il ne faut pas négliger le contreventement.

Généralités. — Au contact du zinc et du fer, il se produit une action galvanique qui détruit la couverture métallique. Le plâtre attaque le zinc à l'humidité.

Le chêne, non purgé de sa sève, transforme promptement les plombs en contact avec lui, malgré plusieurs couches de peinture, en oxyde de plomb.

Charpentes.

Formées de triangles qui sont les *seules figures indéformables*. Toutes les combinaisons devront tendre à affecter cette forme.

Exemple : Ferme en fer a la Polonceau a deux contrefiches.

Marche à suivre dans les calculs :

Les calculs reposent sur la théorie des poutres.

Données : p charge par mètre de longueur horizontale ;

Charge totale $= 2pa$; $AC = 2a$; $BH = h$.

Arbalétriers $AB = BC = l$.

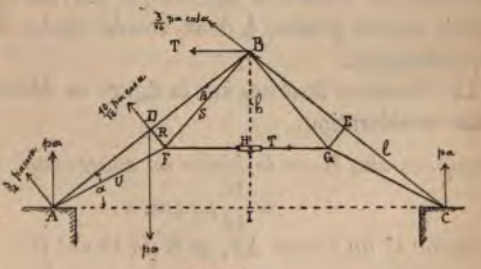


Fig. 131

Bielles ou contrefiches $DF = GE$ soutenant les arbalétriers AB et BC en leur milieu D et E ;

Tirants $AF = FB = BG = GC$.

Tension T. — La tension de FG annule la poussée horizontale sur les appuis A et C.

On peut ne considérer que la moitié de gauche de la ferme, en introduisant les réactions T de la demi-ferme de droite sur la demi-ferme de gauche.

Pour l'équilibre, les deux couples $pa \times \frac{a}{2}$ et $T \times h$ doivent être égaux.

$$\frac{pa^2}{2} = Th \qquad \text{d'où} \quad T$$

C'est la tension qu'il faut donner à l'entrait FG pour annuler la poussée de la ferme.

Cette tension se produit par le seul fait de l'équilibre, si l'un des appuis, A ou C, est disposé sur un patin à roulettes, de manière à favoriser le jeu de la dilatation et à annuler la réaction horizontale.

On réalise directement la tension T au moyen d'un écrou portant deux filetages en sens contraire.

Les tirants AF, FB, BG, GC sont tendus par des moyens analogues, de sorte que les bielles DF, GE sont pressées contre les deux arbalétriers pour annuler complètement les flèches de ceux-ci qui peuvent être considérés comme poutres à deux travées égales et également chargées.

Les réactions inscrites sur la figure se déduisent de cette considération.

Compression R *de la bielle ou contrefiche* DF :

$$= \frac{10}{16} pa \cos. \alpha.$$

Tension U *du tirant* AF, *et* S *du tirant* BF :

Les trois forces en A se font équilibre : $\frac{3}{16} pa \cos \alpha$, la pression pa opposée à la réaction, et U.

En projetant sur la direction de la réaction $\frac{3}{16} pa \cos \alpha$, on trouve :

$$U = \frac{13 pa \cos. \alpha}{16 \sin. \beta}.$$

Opérant de la même façon, par rapport à B, on trouve :

$$S = T \times \frac{\sin.\alpha}{\sin.\beta} - \frac{3pa \cos.\alpha}{16 \sin.\beta}.$$

Cas d'un poinçon BH. — Un poinçon ne ferait que supporter le tirant FG qui serait considéré comme pièce reposant sur trois appuis.

L'effort du poinçon serait alors de $\frac{5}{8}$ P (P étant le poids du tirant FG). Cet effort est trop faible pour modifier les calculs précédents.

Compression longitudinale d'un arbalétrier :

$$\text{En} \quad B = T \cos.\alpha + S \cos.\beta$$

Elle augmente ensuite de B en A de $\frac{pa}{l} \times \sin \alpha$ par mètre, pour devenir :

$$\text{en} \quad A = T \cos.\alpha + S \cos.\beta + pa \sin.\alpha.$$

Cette compression en A est aussi égale à la projection sur l'arbalétrier de pa et U, c'est-à-dire :

$$pa \sin.\alpha + U \cos.\beta.$$

Moment fléchissant maximum d'un arbalétrier :

Il a lieu

$$\text{En} \quad D = \frac{1}{8}\left(\frac{pa}{l}\right) \cos.\alpha \times \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{32} pa^2.$$

Calcul des dimensions d'un arbalétrier :

$$R = \frac{VM}{I} + \frac{N}{\omega}$$

$M = \frac{1}{32} pa^2$ et N = compression maxima en A

$$= pa \sin.\alpha + U \cos.\beta.$$

On pourra se borner à prendre N au point D seulement.

On cintre généralement les arbalétriers en sens contraire de la flèche naturelle.

PONTS

1° Ponts en maçonnerie.

(Voir les *Procédés de fondation*).

(Extrait en partie du *Cours de l'Ecole des Ponts-et-Chaussées*).

Règles pratiques pour déterminer les épaisseurs des voutes, des culées et des piles

Poussée à la clef d'une voûte. — Formule empirique : la poussée horizontale à la clef est égale au produit du rayon de courbure ρ au sommet de l'intrados et de la charge verticale F, transmise à l'intrados sur une longueur de 1 mètre.

Formule de Navier : $T = \rho \times F$.

Exemple : Soit une voûte de 1 mètre d'épaisseur à la clef, et de 15 mètres de rayon, avec une surcharge dont le poids représente une hauteur de maçonnerie de $1^m,50$ de densité 2500 kilogrammes :

$T = 15 \times 2.50 \times 2500 = 93750$ kilogrammes.

La pression par centimètre carré $= 9^k,37$.

Conditions de stabilité d'un pont.

1° Épaisseurs telles que, à toute hauteur, le coefficient de stabilité pour la résistance au renversement soit au moins égal à 1,50 pour les culées et 1,00 pour les piles.

2° Le glissement ne doit pas pouvoir se produire aux joints.

Pour cela, la résultante des pressions doit faire un angle plus grand que 63° avec chaque joint.

3° La pression par centimètre carré doit être inférieure au 1/10 de la charge qui produirait l'écrasement.

Cette condition sera remplie :

Si la résultante des pressions sur un joint passe entre le 1/3 et les 2/3 de la longueur de ce joint;

Si l'on ne compte comme longueur utile, pour les voûtes et les culées, que trois fois la distance qui sépare le point de passage de la résultante de l'arête la plus voisine;

Si la pression moyenne comptée sur la longueur utile de chaque joint, n'est pas supérieure au 1/20 de la charge d'écrasement;

Si les pressions moyennes, dans un même ouvrage, partout où on y emploie les mêmes matériaux, sont à peu près égales entre elles.

Épaisseurs des voûtes. — Pour les *pleins cintres :*

Epaisseur à la clef : $e = 0.15 + 0.15\sqrt{2R}$.

Pour les *arcs de cercle*, employer la même formule lorsque l'ouverture et le surbaissement sont faibles, en prenant pour R le rayon de l'arc de cercle. Pour des surbaissements et des ouvertures plus forts, on prend :

Surbaissement	= 1/6	$e = 0.15 + 0.14\sqrt{2R}$
»	= 1/8	$e = 0.15 + 0.13\sqrt{2R}$
»	= 1/10	$e = 0.15 + 0.12\sqrt{2R}$
»	= 1/12	$e = 0.15 + 0.11\sqrt{2R}$

Surbaissement = Rapport de la flèche à l'ouverture.

Pour les ellipses, adopter la formule générale :

$$e = 0.15 + 0.15\sqrt{2R}$$

R étant non le rayon de courbure de l'ellipse à son sommet, mais le rayon de l'arc de cercle de même surbaissement.

Épaisseur aux reins de la voûte.— Pour les *pleins cintres* et les *ellipses*, cette épaisseur s'applique au joint de rupture correspondant au milieu de la montée. Elle est égale à l'épaisseur à la clef multipliée par un coefficient qui est :

2.00	pour	pleins cintres	
1.80	pour	ellipses surbaissées à	1/3
1.60	»	»	1/4
1.40	»	»	1/5

Pour les arcs de cercle, cette épaisseur s'applique au joint de rupture qui est normal à l'intrados aux naissances. Elle est égale à l'épaisseur à la clef multipliée par un coefficient qui est :

1.80	pour	surbaissements de	1/4
1.40	»	»	1/6
1.25	»	»	1/8
1.15	»	»	1/10
1.10	»	»	1/12

Epaisseurs entre les reins et la clef. — Ces épaisseurs sont déterminées par la courbe d'extrados qui est ordinairement un arc de même nature que la courbe d'intrados, et passant par l'extrémité des joints déterminés ci-dessus.

Pour s'assurer si les conditions de stabilité sont satisfaites, on vérifiera, pour les piédroits, si le coefficient de stabilité est suffisant.

On tracera ensuite la courbe des pressions par la méthode de Méry, en admettant que la courbe de pression passe au tiers de la clef à partir de l'extrados, et au *tiers du joint* de rupture à partir de l'intrados.

Épaisseur des piles. — On détermine l'épaisseur de telle sorte que la pile soit dans un état d'équilibre en cas de rupture de l'une des arches adjacentes.

Observations générales. — On comparera les dimensions trouvées avec celles d'ouvrages existants avant de les adopter définitivement. Pour les arches de très grande ouverture, il serait nécessaire d'élégir les tympans au moyen d'évidements transversaux, afin de réduire les pressions. Mais il faut s'attacher à ce que les évidements soient établis avec prudence, de manière à ne pas nuire à la solidité.

Résultats comparatifs

Le poids du mètre cube de maçonnerie est supposé de 2400 kilogrammes et la hauteur au-dessus de la clef égale à 0.40.

(Voir les tableaux aux pages suivantes).

Pleins cintres.

RÉSULTATS APPLICABLES A L'ÉTAT D'ACHÈVEMENT DES OUVRAGES

OUVERTURE des arches	ÉPAISSEUR à la clef	VOUTES AVEC TYMPANS PLEINS				VOUTES AVEC TYMPANS ÉLÉGIS			
		Angles des joints de rupture	Poussées horizontales	Pressions moyennes à la clef	Pressions moyennes au joint de rupture	Angles des joints de rupture	Poussées horizontales	Pressions moyennes à la clef	Pressions moyennes au joint de rupture
10	0.62	32°	13340k	2k15	2k31	32°	12340k	1k99	1k96
20	0.82	31°	36720	4.48	4.99	32°	31700	3.87	3.76
30	0.97	28°	69000	7.11	8.49	32°5'	54740	5.64	5.28
40	1.10	27°	109880	9 99	12 30	33°40'	85650	7.79	7.08
50	1.21	26°	159020	13.14	16.57	33°	118090	9.77	8.99
60	1.31	25°	216360	16.52	21.26	33°45'	159390	12.17	11.32
70	1.40	24°	281720	20.12	26.39	33°52'	205250	14.66	13.53
80	1.49	23°	355080	23.83	31.95	33°58'	248900	16.70	15.31
90	1 57	23°	436270	27.79	37.34	33°54'	297840	18.97	17.48
100	1.65	22°	525220	31.83	43 64	33°47'	352250	21.35	19.83

Arcs de cercle.

RÉSULTATS APPLICABLES A L'ÉTAT D'ACHÈVEMENT DES OUVRAGES AVEC TYMPANS PLEINS.

Ouverture des arches	ÉPAISSEUR à la clef pour un surbaissement de			RAPPORT entre l'épaisseur du joint normal aux naissances et celle de la clef pour un surbaissement de			POUSSÉES horizontales pour un surbaissement de			PRESSIONS MOYENNES à la clef pour un surbaissement de			PRESSIONS MOYENNES au joint normal des naissances pour un surbaissement de		
	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$
10	0.68	0.84	0 98	1.80	1.25	1,10	18310	30350	41400	2.69	3.61	4.22	2.83	3.54	4.26
20	0.90	1.13	1.33	»	»	»	50950	85860	118820	5.66	7 60	8.93	6.11	7.43	8 98
30	1.07	1,35	1.59	»	»	»	95620	159630	221980	8.94	11.82	13.96	9.84	11.60	13.97
40	1.21	1.53	1.81	»	»	»	152160	249880	347380	12.57	16.33	19.19	14.01	16.08	19.27
50	1.34	1.70	2.01	»	»	»	220540	355430	494193	16.46	20.91	24.59	18.52	20.65	24.63
60	1.45	1.84	»	»	»	»	299160	447140	»	20.63	25.93	»	23,40	27.67	»
70	1.55	1.98	»	»	»	»	388010	613810	»	25.03	31.00	»	28,60	30.77	»

Pour une même ouverture, les poussées augmentent avec le surbaissement.

Pour un même rayon, les poussées diminuent avec le surbaissement.

Ellipses.

RESULTATS APPLICABLES A L'ÉTAT D'ACHÈVEMENT DES OUVRAGES AVEC TYMPANS PLEINS.

Ouverture des arche	ÉPAISSEUR à la clef pour un surbaissement de			RAPPORT entre les épaisseurs au milieu de la montée et à la clef pour un surbaissement de			POUSSÉES horizontales pour un surbaissement de			PRESSIONS MOYENNES à la clef pour un surbaissement de			PRESSIONS MOYENNES au joint de rupture pour un surbaissement de		
	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/4	1/5
10	0.64	0 68	0 72	1.80	1,60	1 40	18550	23200	27120	2,89	3.41	3,77	2,12	2.41	2,80
20	0 85	0,90	0.96	»	»	»	48510	60320	71450	5.71	6.70	7,44	4 32	4.81	5.58
30	1.00	1,07	1.14	»	»	»	88570	109070	129310	8 86	10.19	11,34	6.78	7.39	8.18
40	1.14	1.21	1.29	»	»	»	138130	168420	199160	12 12	13.92	13 44	9.52	10 14	11 53
50	1.25	1.34	1,43	»	»	»	196760	238070	280010	15,74	17,77	19,58	12.63	13.14	14.71
60	1.36	1.45	1.55	»	»	»	264180	316470	371170	19,42	21,83	23.95	16,47	16,22	18.02
70	1.46	1.55	1.66	»	»	»	340130	404310	472100	23.31	26.09	28,44	19.94	19.56	21.49
80	1.55	1.65	1,76	»	»	»	424440	500940	582380	27,38	30.36	33,09	24,10	23.22	25.11
90	1,63	1,74		»	»	»	516920	606090		31.71	34.83		28.01	26.65	

Pour une même ouverture, les poussées augmentent avec les surbaissements.

Pour un même rayon, les poussées diminuent avec les surbaissements quand ils dépassent un tiers, et seulement pour les grandes ouvertures.

Tracé des anses de panier.

MÉTHODE GÉNÉRALE.— *Données :* Ouverture = AB.
Montée = OC.

Fig. 132

On décrit du point O, deux circonférences, l'une ayant AB comme diamètre et l'autre OC comme rayon.

On divise celle tracée sur l'ouverture AB en autant de parties égales que l'anse de panier doit avoir de centres. Celle du croquis est à cinq centres.

On joint les points de division D, E, G, H au centre O. Les points m, m', m'' ..... d'intersection des horizontales menées des points d, e, g, h, de rencontre des rayons avec la petite circonférence et des verticales menées des points de division D, E, G, H, seront des points de la courbe cherchée.

Il suffira ensuite de faire passer par les points A, m, m', C, m'',..... B des arcs de cercles tangents entre eux en m, m' m''.....

Voûte en plate-bande.

L'intrados et l'extrados sont deux lignes horizontales.

Ses joints devront être perpendiculaires à la courbe des pressions. La courbe des pressions est approximativement l'arc de cercle passant par les naissances et par le tiers de la clef à partir de l'extrados.

Epaisseur à la clef $e = \sqrt{\frac{3\,P \times l}{R}}$.

P = poids total au-dessus de l'intrados sur 1 mètre de longueur ; l = la moitié de l'ouverture ; R = la résistance maxima qu'il convient de ne pas dépasser pour les matériaux.

2° Ponts métalliques

EXTRAIT DES INSTRUCTIONS MINISTÉRIELLES DU 29 AOUT 1891.

DÉSIGNATION des matières	LIMITES du travail du métal par millim. carré de section	ALLONGEMENT minimum de rupture mesuré sur des éprouvettes de 200 millimètres de longueur	RÉSISTANCE minimum à la traction par millim. carré mesurée sur des éprouvettes de 200 millimètres de longueur	OBSERVATIONS
Fonte soumise à un effort d'extension direct. . .	1k,50	»	»	Pour les fers laminés dans un sens soumis à un effort de traction perpendiculaire au sens du laminage les coefficients seront réduits de $\frac{1}{3}$. Il n'y aura pas de réduction pour l'acier. Les coefficients relatifs à l'extension et à la compression seront applicables aux efforts de cisaillement et de glissement longitudinal mais réduits de $\frac{1}{5}$.
Fonte soumise à la flexion .	2 ,50	»	»	
Fonte soumise à la compression	6 ,00	»	»	
Fer et Acier (extension, flexion ou compression . . . . . Fer .	6 ,50	»	»	
Fer et Acier (extension, flexion ou compression . . . . . Acier.	8 ,50	»	»	*Rivets.* — Le travail de cisaillement ne doit pas dépasser les $\frac{4}{5}$ de la limite admise pour la plus faible des pièces à assembler.
Pour pièces de pont, Fer .	5 ,50	»	»	Le travail d'arrachement des têtes

Barres de treillis ou pièces soumises à des efforts alternatifs d'extension et de compression . .	Fer .	4 ,00	»	»
	Acier.	6 ,00	»	»
Pièces principales d'ouvrages d'ouverture supérieure à 30 mèt.	Fer .	8 ,50	»	»
	Acier.	11 ,50	»	»

Limites du travail du fer et de l'acier dans le cas de variations de sens et de grandeur des efforts supportés sous les différentes surcharges, pendant les épreuves:

Efforts d'extension et compression alternatifs dans le même sens . $\left\{\begin{array}{l}\text{Fer} = 6^k + 3 \times \frac{A}{B} \\ \text{Acier} = 8^k + 4 \times \frac{A}{B}\end{array}\right.$

A = plus petit des efforts auxquels la pièce est exposée.

B = plus grand des efforts auxquels la pièce est exposée.

Efforts d'extension et compression alternatifs variant de sens . $\left\{\begin{array}{l}\text{Fer} = 6^k - 3 \times \frac{C}{B} \\ \text{Acier} = 8^k - 4 \times \frac{C}{B}\end{array}\right.$

B = plus grand effort en valeur absolue supporté par la pièce.

C = plus grand effort en valeur absolue, en sens contraire.

QUALITÉS DU FER ET DE L'ACIER

Fer laminé — Fer profilé plat (dans le sens du laminage). . .	»	8 pour cent	32k	Il est possible d'élever jusqu'à 55 kil. la résistance de l'acier avec un allongement de 19 pour cent sans qu'il cesse de remplir les conditions nécessaires pour la construction des ponts.
Fer laminé — Tôle — dans le sens du laminage.	»	8 —	32	
Fer laminé — Tôle — dans le sens perpendiculaire au laminage . .	»	3,5 —	28	
Acier laminé	»	22 —	42	
Rivets en fer	»	16 —	36	
Rivets en acier	»	28 —	38	

Epreuves.

1° Ponts supportant des voies de fer de largeur normale.

(Les trains d'épreuves devront se rapprocher le plus possible des trains-types)

A. POIDS MORT			B. POIDS ROULANT	
Voies indépendantes ou voie unique		Voies solidaires	Voies indépendantes ou voie unique	Voies solidaires
Travées indépendantes	Travées solidaires			
Le train d'épreuve sera amené successivement sur chaque travée de manière à la couvrir complètement, puis à en couvrir une $\frac{1}{2}$ seulement. Dans chacune de ces positions il séjournera une demi-heure au moins.	Le train d'épreuve aura une longueur suffisante pour couvrir les deux plus grandes travées consécutives. 1° Chaque travée sera chargée isolément en coupant le train de longueur; 2° On chargera simultanément deux travées contiguës à chaque pile à l'exclusion de toutes les autres.	L'épreuve se fera : 1° Sur chacune des voies séparément; 2° Sur les deux voies simultanément.	Les trains d'essai seront les mêmes que pour l'épreuve au poids mort; on les fera circuler : 1° A une vitesse de 20 k. à l'heure ; 2° A une vitesse de 40 k. à l'heure quand la voie sera suffisamment assise.	L'épreuve se fera : 1° Sur chacune des voies séparément ; 2° Sur les 2 voies simultanément à l'aide de deux trains marchant dans le même sens aux mêmes vitesses que pour les voies indépendantes (20 km. et 40 km.)
Ponts en arc. 1° Toute la portée sera chargée ; 2° Chaque $\frac{1}{2}$ sera chargée successivement ; 3° La partie médiane seule sera chargée en				

(*Les trains d'épreuves seront composés avec le matériel le plus lourd circulant sur ces voies*).

Epreuves semblables à celles pour voie normale

Vitesses des trains d'épreuve :
1° 20 km. à l'heure; 2° 35 km. à l'heure.

3° Ponts supportant des voies de fer de largeur inférieure a 1m,00.

Les épreuves seront réglées par décision ministérielle

4° Ponts supportant des voies de terre.

Travées indépendantes— Travées solidaires

Une surcharge de 400 k. par m² sera étendue :

1° Sur la $\frac{1}{2}$ de la portée où elle séjournera une demi-heure.

2° Sur toute la portée où elle séjournera une demi-heure.

1° Chaque travée sera chargée isolément comme dans le cas de travées indépendantes;

2° Les travées contiguës à chaque pile seront chargées simultanément à l'exclusion de toutes les autres.

Dans le cas où toute la largeur ne pourrait pas être couverte de véhicules, l'excédent de largeur sera couvert d'une surcharge de 400 k. par m².

Ponts en arc.

1° Toute la portée sera chargée ;

2° Chaque $\frac{1}{2}$ sera chargée successivement ;

3° La partie médiane sera seule chargée.

On fera circuler les voitures au pas d'une extrémité à l'autre du pont.

On fera ensuite passer un véhicule comprenant au moins un essieu de 11 tonnes.

Les véhicules devront se rapprocher du type, et en tous cas représenter avec leurs attelages une charge minima de 400 k. par m² en supposant la largeur de la zone occupée égale à 2m,25.

Calculs justificatifs.

Voies de fer de largeur normale.

On devra justifier par des calculs qu'ils ont satisfait aux conditions imposées pour le travail du métal.

Pour les fermes longitudinales, on examinera l'hypothèse du passage sur chaque voie du train-type dont on choisira la position la plus défavorable donnant les plus grands efforts tranchants et fléchissants.

Pour les autres pièces telles que les pièces de pont, on admettra l'hypothèse du passage de un essieu de 20 ^{T} si cette dernière réalise les plus grands efforts.

Pression du vent. — Les plus grands vents ne devront pas faire travailler le métal 1 kilogramme en plus des limites imposées dans le tableau. La pression du vent peut atteindre 270 kilogrammes par mètre carré de surface verticale, le passage du train sera supposé interrompu, lorsque cette pression atteindra 170 kilogrammes.

Il sera bon de faire des propositions sous le rapport des pressions à adopter eu égard aux circonstances locales.

On supposera que cette pression ne s'exerce que sur la surface nette, déduction faite des vides des maîtresses-poutres, qu'elle agit intégralement sur la première poutre et qu'elle est sur la deuxième diminuée d'une fraction égale au rapport de la surface nette de la première à sa surface totale (vide et plein). Pour les piles métalliques, on supposera que la pression s'exerce intégralement sur la surface nette de toutes les pièces. L'hypothèse d'un train sur le pont sera examinée en admettant l'action du vent sur la surface d'un rectangle plein de 3 mètres régnant sur toute la longueur du pont et à $0^{m},50$ au-dessus du rail, diminuée de la surface nette de la première poutre. La pression sera supposée nulle sur la deuxième poutre masquée par le train.

On s'assurera que les efforts de glissement transversal et de renversement sous l'action du vent ne sont pas dangereux dans l'hypothèse d'un train formé de wagons vides.

Voies étroites $\geqslant$ 1 mètre de largeur.

Les prescriptions pour voies normales sont applicables en adoptant *le train-type se rapportant* à ce genre de voies.

LARGEUR NORMALE

TRAINS-TYPES

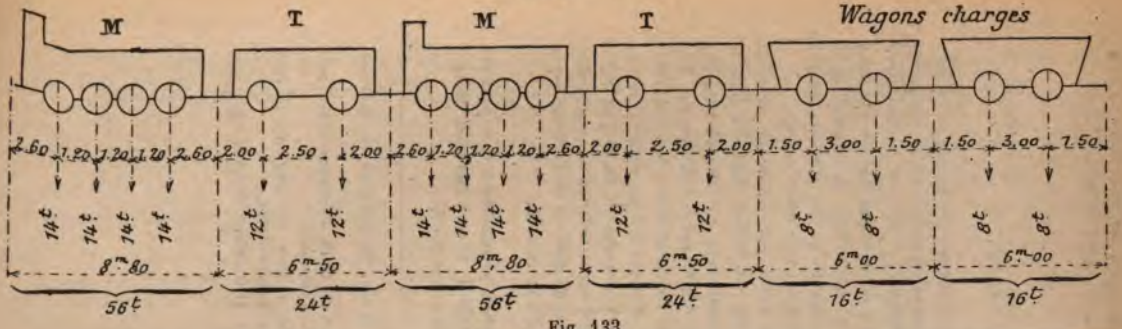


Fig. 133

VOIES ÉTROITES

LARGEUR $\geqslant$ 1m,00

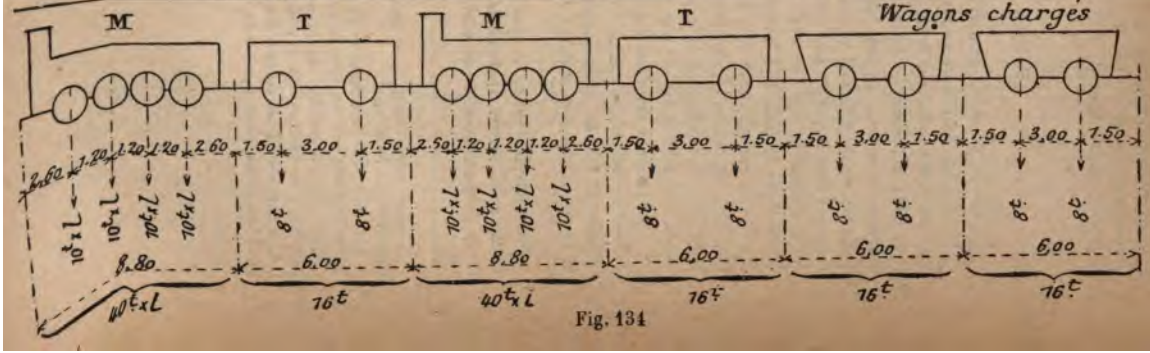


Fig. 134

Pour le calcul du métal sous l'action d'un essieu isolé, on admettra une charge de $14^T \times l$ (l = largeur de la voie entre les bords intérieurs des rails).

Voies de terre.

Le travail du métal ne devra pas dépasser les limites imposées :

1° sous une surcharge uniformément répartie de 400 kilogrammes par mètre carré sur toute la largeur, y compris les trottoirs.

2° Sous le passage de tombereaux à un essieu traînés par deux chevaux en autant de files que le comportera la largeur de la chaussée, conformément au train-type n° 1. Les trottoirs seront supposés surchargés de 400 kilogrammes par mètre carré.

On s'assurera que le travail du métal par millimètre carré ne dépasse pas de plus de 1 kilogramme les limites imposées dans le cas où l'on remplacerait l'un des tomberaux par un véhicule pesant 11^T, de mêmes dimensions et traîné par 5 chevaux sur une seule file, et aussi dans le cas où ces tombereaux seraient remplacés sur tout le tablier par des chariots à deux essieux traînés par huit chevaux sur deux files, conformément au train-type n° 2.

Dans aucun cas, la charge uniformément répartie ne pourra être inférieure à 300 kilogrammes par mètre carré, et les autres charges ne pourront pas être réduites de plus de moitié.

Pression du vent. — Les mêmes prescriptions que pour les voies de fer seront applicables; mais il ne sera pas tenu compte de la présence possible de véhicules sur le pont.

Il sera nécessaire, dans tous les cas, de faire les vérifications relatives au flambage.

Le calcul des flèches sous l'action du train d'épreuve devra toujours être annexé au procès-verbal d'épreuve.

Une visite annuelle est prescrite, et tous les cinq ans il sera procédé à la vérification des flèches permanentes.

Les calculs de résistance devront être refaits tous les cinq ans pour les ponts pour chemin de fer.

TRAINS-TYPES N° 1

Fig. 135

N° 2

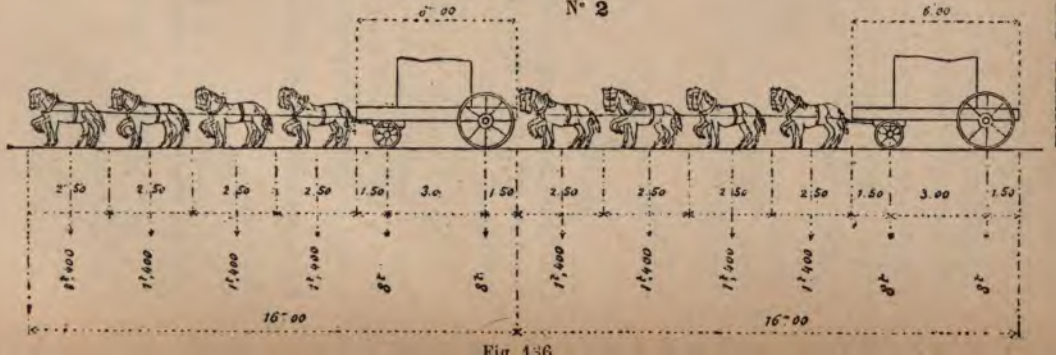


Fig. 136

DISTANCE AU RAIL LE PLUS VOISIN DES PIÈCES LES PLUS RAPPROCHÉES DE LA VOIE.

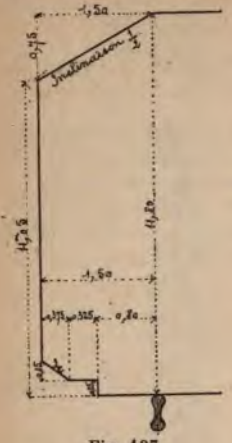


Fig. 137

Le contour figuré par le croquis ci-contre indique les positions limites que peuvent occuper les objets par rapport au rail.

LIMITE DU POIDS DES MACHINES QUI POURRONT CIRCULER SUR LES PONTS SANS AUTORISATION PRÉALABLE.

1° *Voie normale.* — La circulation d'une machine dont 1 des essieux aurait à supporter une charge supérieure à 18 ^{T} devra être autorisée par le Ministre. Il en sera de même si le poids moyen par mètre courant de la machine dépasse de plus de $\frac{1}{10}$ celui de la machine-type.

2° *Voie* $\geqslant$ *1 mètre.* — La charge d'essieu maxima pouvant circuler sans autorisation, sera : $12^{T} \times l$, ($l =$ largeur de la voie entre les bords intérieurs des rails.)

PROBLÈME

Recherche du moment fléchissant maximum produit par une machine en stationnement.

On considérera successivement les sections placées entre le point d'appui B et le premier essieu voisin, entre deux essieux consécutifs, et enfin entre l'appui A et le quatrième essieu.

Le moment fléchissant pour une section est égal au moment de la réaction q de l'un des appuis, moins les moments des divers poids situés entre cet appui et la section considérée.

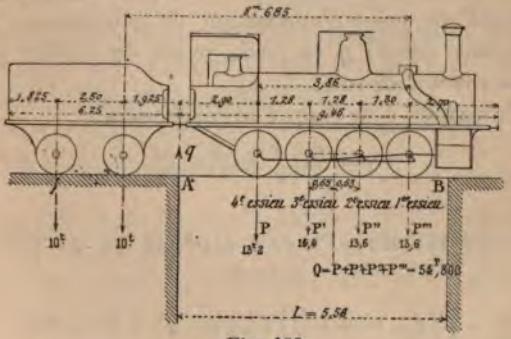


Fig. 138

La discussion des équations des moments fléchissants pour les cinq cas montre que pour une section prise en un point quelconque de la portée, le moment maximum se réalise lorsque l'un des essieux est arrivé à son aplomb.

Eu égard au peu de différence qui existe dans les poids portés par chaque roue et dans les écartements des roues, la position la plus défavorable que puisse prendre la machine coïncidera sensiblement avec le

moment où le centre de gravité de la machine s'approchera du milieu du pont. Aussi suffira-t-il de faire les calculs pour les deux roues du milieu.

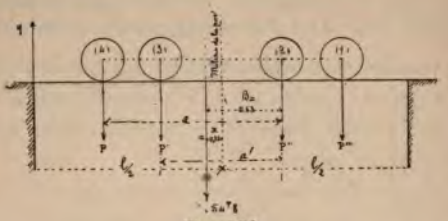


Fig. 139

x = distance du point d'application de la résultante au milieu de la portée des poutres ; β = distance invariable du point d'application de la résultante au deuxième essieu ; p = poids propre du tablier par mètre courant de voie.

La réaction q de l'appui de gauche sera :

$$q = \frac{Q}{l}\left(\frac{l}{2} + x\right) + \frac{pl}{2}.$$

MOMENT FLÉCHISSANT PAR RAPPORT AU DEUXIÈME ESSIEU

$$M = \left[\frac{Q}{l}\left(\frac{l}{2} + x\right) + \frac{pl}{2}\right]\left(\frac{l}{2} + \beta - x\right) - (Pa + P'a') - \frac{p}{2}\left(\frac{l}{2} + \beta - x\right)^2$$

Le maximum de M correspondra à la valeur de x pour laquelle la dérivée est égale à o.

$$\frac{dM}{dx} = \frac{Q\beta}{l} - \frac{2Qx}{l} - px + p\beta = 0$$

d'où $$x = \beta \times \frac{Q + pl}{2Q + pl} = 0{,}33.$$

On a supposé p = 1000 kilogrammes.

MOMENT FLÉCHISSANT PAR RAPPORT AU TROISIÈME ESSIEU.

On arrive à $x = 0.34$.

On obtiendra dans ce dernier cas le croquis ci-contre.

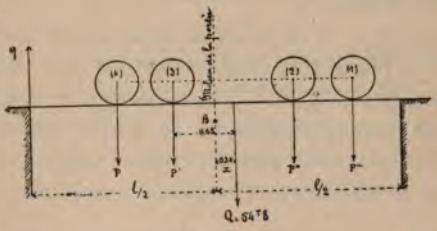


Fig. 140

Ces deux croquis figurent la position de la machine donnant le plus grand moment fléchissant par rapport au deuxième et au troisième essieu.

Ce sera le moment le plus grand des deux qui servira à déterminer le travail du fer.

CHARGE UNIFORMÉMENT RÉPARTIE QUI PRODUIRAIT LE MÊME MOMENT FLÉCHISSANT QU'UNE MACHINE DANS SA POSITION LA PLUS DÉSAVANTAGEUSE A LA RÉSISTANCE DES POUTRES.

Servira à se rendre compte du surcroît de travail que le passage d'une locomotive impose au fer sur celui produit par la charge d'épreuve au poids mort.

Pour une poutre reposant sur deux appuis, chargée uniformément, le plus grand moment fléchissant $= \frac{p' l^2}{8}$ qui doit être égal à M', moment maximum dû au stationnement de la machine.

$$\frac{p' l^2}{8} = M' \quad \text{et} \quad p' = \frac{8 M'}{l^2}.$$

M' sera déduit de l'équation précédente donnant le moment maximum par rapport au deuxième ou troisième essieu, et dans laquelle p, représentant le poids propre du pont, est égal à o, ce qui donne $x = \frac{\beta}{2}$ pour ces deux cas.

Principe. — Abstraction faite du poids propre du pont, la position la plus défavorable que puisse occuper une machine du type précédent sur un pont, se réalise quand le milieu de la portée divise en deux parties égales la distance comprise entre l'essieu considéré et le centre de gravité de la machine.

Poutres en treillis.

$$\omega = \frac{T}{2n \cos. \alpha \times R}.$$

ω = Section d'une barre de treillis.
T = Effort tranchant.

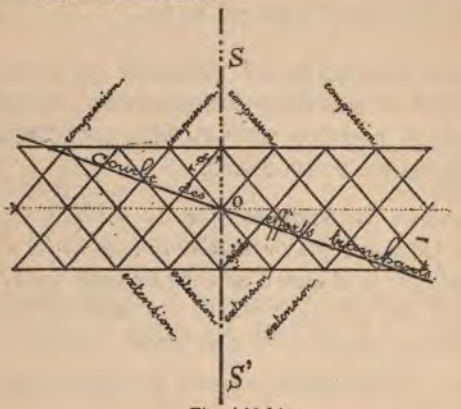


Fig. 140 *bis*

$2n$ = nombre de barres rencontrées par la section SS' = 6 sur le croquis.

α = Angle des barres de treillis avec la verticale.

R = Effort de sécurité, d'extension ou de compression.

O = Point de rencontre de la ligne représentative des efforts tranchants avec la fibre moyenne.

Les barres convergeant vers S sont comprimées, celles convergeant vers S' sont tendues.

Le système donnant la section minima et par suite coûtant le moins cher, correspond à $\alpha = 45°$.

A égalité de résistance, la poutre en treillis est plus lourde que la poutre à âme pleine et ne présente pas une sécurité aussi grande comme méthode de calcul.

Diagrammes relatifs aux poutres à travées solidaires égales reposant sur des appuis de niveau, à section et à charge uniformément répartie constantes.

Poutre reposant librement sur deux appuis de niveau.

Fig. 141

Si la poutre est chargée simplement en son milieu d'un poids P :

Réaction des appuis = effort tranchant = $\frac{P}{2}$

Moment fléchissant maximum = $\frac{Pl}{4}$

Flèche : $f = \frac{Pl^3}{48\,EI}$.

Poutre encastrée à chacune de ses extrémités supposées de niveau.

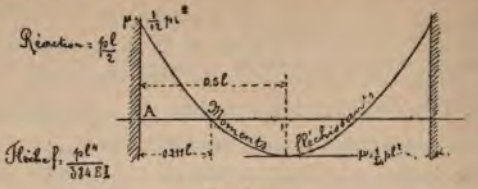


Fig. 142

Si la poutre est chargée simplement en son milieu d'un poids P :

Réaction des appuis $= \frac{P}{2}$

Moment fléchissant maximum $= \frac{Pl}{8}$ au milieu et sur les appuis.

Flèche : $f = \frac{1}{4}\left(\frac{Pl^3}{48EI}\right)$.

Poutre reposant librement sur trois appuis de niveau.

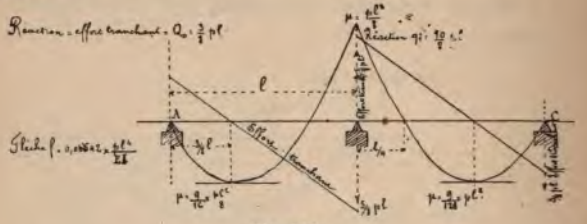


Fig. 143

Poutre reposant librement sur quatre appuis de niveau.

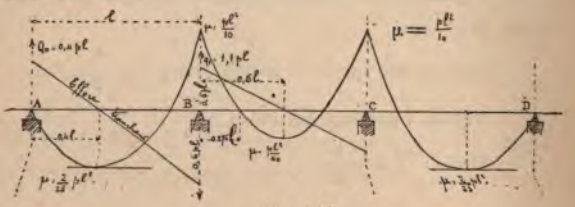


Fig. 144

Comparaison entre les ponts a poutres continues et les ponts a poutres discontinues

Pour le même travail du fer, la poutre continue présente un poids moindre que la poutre à travées indépendantes, mais elle exerce des pressions plus grandes sur les piles.

Répartition des plates-bandes.

Pour diminuer le poids des poutres, on détermine les épaisseurs à donner aux plates-bandes et à l'âme pour que, dans chaque section, la plus grande tension ou compression ne dépasse pas la limite donnée R, et le plus grand effort tranchant la limite 0,8 R.

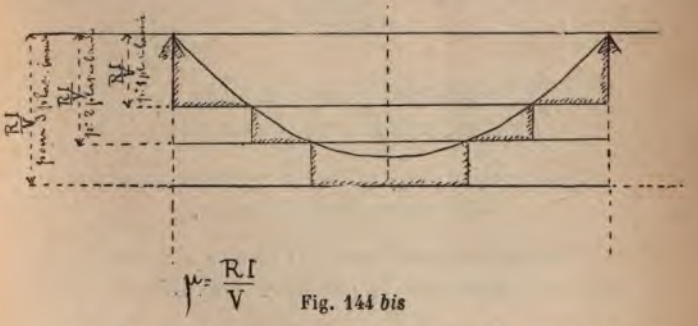


Fig. 144 *bis*

Cette répartition se fait au moyen des épures des moments fléchissants.

L'expérience consacre cette manière de procéder bien que la section ne reste plus constante.

Gabarits pour tracer les paraboles des moments fléchissants.

Toutes les paraboles rapportées à leur sommet et à

leur axe répondant aux divers cas d'épreuve, ont pour formule :

$$\mu = \frac{1}{2} px^2 \text{ ou } x^2 = \frac{2\mu}{p}$$

p = charge uniformément répartie par mètre courant.

Problème. — Déterminer l'équation du gabarit des paraboles dans le cas où les échelles admises pour les épures sont :

Abscisses ou longueurs $= \frac{1}{200} =$ 5 millimètres par mètre.

Ordonnées ou moments fléchissants $= \frac{1}{4.000.000} =$ 5 millimètres par 20.000 kilogrammes.

On a : $$4.000.000\,\mu = \frac{1}{2} p \times 200^2 . x^2$$

d'où $$x^2 = \frac{200\,\mu}{p}.$$

Propriétés des paraboles des moments fléchissants

Construction des paraboles représentatives des moments fléchissants.

Connaissant une ordonnée DC et une abscisse BD, on pourra construire la parabole. On divisera DC

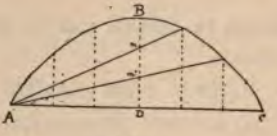


Fig. 145

et DB en un même nombre de parties égales. La rencontre des lignes Am, Am', et des verticales aux points de division de DC donnera des points de la parabole.

Connaissant les moments fléchissants sur les appuis A_1M_1 *et* A_2M_2, *déterminer l'axe et le sommet de la parabole.*

Le point M' se trouvera de la manière suivante :

$$M_2Q = A_1A_2$$
$$QR = 2p$$

(p étant le paramètre).

La droite M_2R rencontre M_1N en M'.

P_1 milieu de M_1M' est sur l'axe.

Pour avoir le sommet o :

$$P_1S = p.$$

M_1T perpendiculaire à M_1S.

O est le milieu de TP_1.

Fig. 146

L'effort tranchant en un point m sera la tangente trigonométrique de l'angle mcb, mc étant la tangente en m. On sait, en effet, que l'effort tranchant est la dérivée du moment fléchissant.

Effort de renversement des piles du a la dilatation.

P = poids du tablier sur chaque pile.

0,15 = coefficient de frottement de glissement de fer sur fer.

Dans le cas de plaques de friction :

$0{,}15 \times P$ = effort longitudinal dû à la dilatation.

h = hauteur de la pile au-dessus de la retraite.

$0{,}15 \times P \times h$ = moment de renversement dû à la dilatation.

Fig. 147

Q = poids de la maçonnerie.
Q + P = poids s'exerçant au milieu de la pile.
(Q + P) × 1/2 b = moment de stabilité.
Il faut :

$$\frac{1}{2}(Q+P)\times b > 0{,}15\times P\times h.$$

Dans le cas d'un mauvais entretien des glissières, le coefficient de frottement pourra dépasser 0,45, relatif au glissement de fer sur pierre. A partir de ce moment, ce sera le sabot en fonte qui glissera sur la pierre ; il en résultera la dislocation de la maçonnerie.

Cet inconvénient est évité par l'emploi des rouleaux de dilatation qui donnent un frottement de roulement très faible.

Le décollement du patin de la poutre et du sabot peut quelquefois s'obtenir en amarrant solidement la glissière à la maçonnerie restée intacte.

Moyens de se rendre compte du fonctionnement des glissières.

Il est indispensable de se munir d'un thermomètre maxima et minima.

1° Appareil (fig. 148) détermine la dilatation de la poutre. Se compose d'un tube creux scellé dans le mur. Dans ce tubepasse une tige fixée à la poutre. Deux cur-

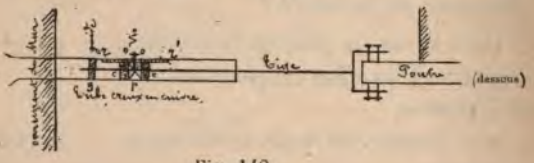


Fig. 148

seurs c,c sont entraînés par le prisonnier p fixé à la tige à l'aide d'une vis. Une pièce g sert de guide à la

tige. La somme des deux lectures, faites sur la rainure *rr'* graduée donne l'écart total entre la dilatation et la contraction.

2° Appareil (fig. 149), donne le mouvement relatif de la poutre et de la glissière.

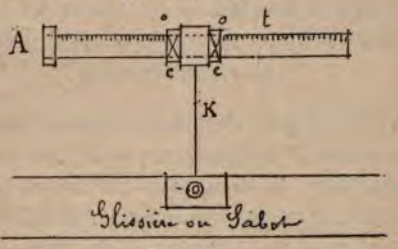


Fig. 149

Tige graduée *t* solidaire de la poutre par son extrémité A.

Deux curseurs *c,c* peuvent être entraînés par une pièce K solidaire du sabot. La lecture donne la différence entre les mouvements de la poutre et du sabot. S'ils sont collés ensemble, les curseurs restent au 0.

MOYEN DE SUIVRE LES MOUVEMENTS D'UNE CREVASSE AB DANS LA MAÇONNERIE.

Une bielle OD agit sur une tige verticale DG pouvant pivoter autour de E scellé dans le mur. L'extrémité G entraîne deux curseurs sur un arc gradué. La bielle OD est en deux parties réunies par une vis V permettant de

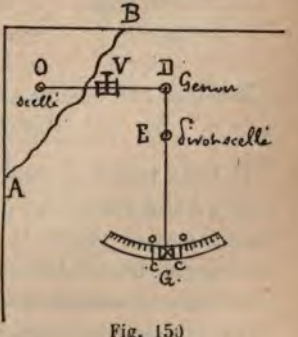


Fig. 150

mettre la tige verticale. Si la crevasse s'élargit, le curseur de droite sera poussé à droite, dans le rapport de $\frac{EG}{ED}$.

Disposition employée a l'amont et a l'aval des grands ponts métalliques en vue de la dilatation

Lors de l'emploi des rails Brunel, les deux rails étaient fendus à mi-épaisseur, et le joint ressemblait à un assemblage de deux pièces de bois à mi-bois. Le joint était soutenu par un coussinet en fonte spécial.

Dans la voie champignon, où les joints sont droits, on fait usage de l'appareil représenté ci-contre, qui n'est autre qu'un coussinet en fonte K.

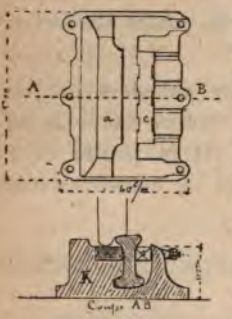


Fig. 151

a pièce d'acier sur laquelle viendra porter le boudin de la roue passant d'un rail sur l'autre à l'endroit du joint qui peut atteindre plus de 10 centimètres dans certains cas. Un coin d'acier *c* maintient le rail dans sa position normale.

Mesure des flèches prises par les tabliers métalliques

1° Deux règles en bois R, R' glissent l'une contre l'autre à frottement dur ; R' fixe, R maintenue exactement sous la poutre. Un repère T est tracé sur les deux règles horizontalement avant l'épreuve. Le trait de R descend au-dessous de T d'une quantité égale à la *flèche prise par la* poutre (fig. 152).

2° On opère au moyen du niveau à lunette lorsqu'il est possible de le poser sur un point solide à l'abri des trépidations subies par le tablier.

Fig. 152

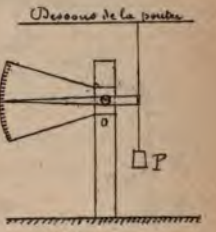


Fig. 153

3° Une aiguille mobile autour d'un axe *o* pris sur un piquet peut se mouvoir sur un cadran. La petite branche qui est 5 à 10 fois plus petite que la grande est rendue solidaire de la poutre au moyen d'une tige ou d'un fil de fer tendu à l'aide d'un poids P. La flèche se trouve ainsi multipliée par le rapport de la grande aiguille à la petite.

4° Sur une planchette fixée à un échafaudage sous le tablier au moyen de boulons KK' se trouve une aiguille AC pouvant tourner autour d'un axe B. Cette aiguille maintenue dans une glissière GG' se meut sur un cadran quand on exerce une pression en C.

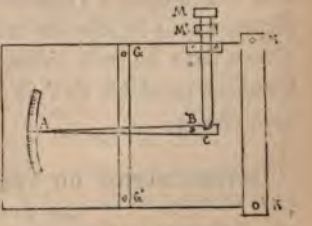


Fig. 154

Une tige MC rendue solidaire de la semelle de la poutre au moyen des deux mâchoires MM' obéit à la

flexion de la poutre et fait décrire à l'extrémité A un arc dont le rapport à la flèche est le même que $\frac{AB}{BC}$. A porte généralement un crayon.

5° Un fil de fer AODB fixé en A est tendu par un poids B après avoir passé sur deux poulies O, D. Après la flexion de la poutre, O est venu en O', et le fil a pris la position AO'DB'.

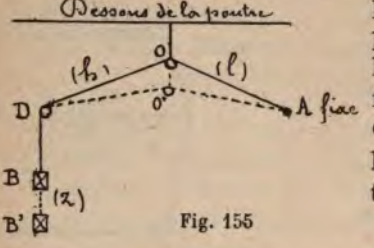


Fig. 155

$OD = h$, $OA = l$,

$BB' = z$ = quantitée observée, $OO' = f = \frac{1}{2} \times \frac{l \times z}{h}$.

6° La flèche permanente d'une poutre peut s'obtenir au moyen de tubes de niveau réunis par des tuyaux de caoutchouc étanches. Les tubes exactement semblables seront gradués. Il suffira de les disposer sur la platebande supérieure de la poutre : un à chaque extrémité et un autre au milieu. La flèche permanente sera la différence entre la hauteur d'eau lue sur le tube du milieu et celle lue sur les tubes des extrémités. Elle sera encore égale à l'épaisseur de la cale qu'il faudrait disposer sous le tube du milieu pour obtenir le même niveau dans les trois tubes. Ce procédé nécessite l'enlèvement préalable de l'air contenu dans les tuyaux en caoutchouc.

Détermination du travail du fer pendant les épreuves

On se sert d'appareils donnant l'allongement par mètre de longueur de la poutre pendant la flexion.

Un de ces appareils employé au pont de Saumur sur

la Loire consiste, en principe, en un corps de pompe hydraulique muni d'un piston et d'un tube de diamètre dix fois plus petit. L'appareil est fixé sur la poutre en deux points espacés de 1 mètre. L'allongement produit un déplacement x du piston qui est de $100\,x$ dans le tube latéral.

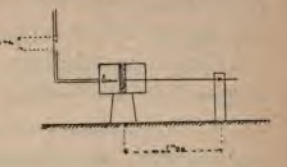


Fig. 156

Si on lit un déplacement de niveau de 5 millimètres dans le petit tube, l'allongement par mètre :

$$x = \frac{0{,}005}{100}$$

Travail du fer par mètre carré de section :

$$R = Ei = 20 \times 10^9 \times \frac{0{,}005}{100}$$

$\left\{\begin{array}{l} E = \text{Coefficient d'élasticité du fer} \\ i = \text{Allongement proportionnel} \end{array}\right.$

d'où : $R = 1.000.000^k$, ou 1^k par $^m/_{m^2}$ de section.

Chariots servant a la visite du dessous des tabliers

1° Un plancher à cadre très solide règne sur toute la largeur du tablier. A ses extrémités ce plancher est relié par un cadre en fer maintenu dans la position verticale par des tiges de fer horizontales servant de garde-corps, et réglables au moyen d'un filetage. Ces cadres en fer sont surmontés chacun de deux galets pouvant rouler sur la semelle inférieure des poutres.

La manœuvre est assez difficile et ne peut se faire qu'à l'aide de cordages tirés par des hommes placés sur la voie et agissant sur les quatre montants verticaux.

Ce chariot est démontable.

2° Un chariot à cage à une personne est suspendu par l'intermédiaire de deux galets à un câble amarré d'un côté sous la voie, et de l'autre à un treuil qui sert à le tendre, et qui est placé sur une pile.

Le câble est suspendu au moyen de crochets fixés au platelage et règne sur toute la longueur d'une travée. La translation du chariot s'opère alors facilement par son poids seul en opérant le décrochage du câble de proche en proche.

Son mouvement vertical s'effectue à l'aide d'un petit treuil situé dans le chariot même, et qui permet à l'homme placé dedans de s'élever en accrochant la corde de ce treuil au câble longitudinal.

3° Les galets peuvent rouler sur les semelles supérieures du pont au lieu de reposer sur les semelles inférieures, comme dans le premier cas.

Pour pouvoir régler la hauteur du chariot, quatre petits treuils situés aux quatre angles du plancher agissent sur des palans fixés au cadre de la partie supérieure et donnent au chariot un mouvement vertical.

Ce système permet de descendre la plate-forme sur un bateau pour passer d'une travée à l'autre.

Mise en place des tabliers métalliques

1° Un plancher en bois est établi sur des palées en charpente et règne sur toute la longueur d'une ou de plusieurs travées. Les poutres et fers sont amenés sur ce plancher et rivés sur place.

Exemple : Pont de Saumur sur la Loire composé de 14 travées de 75 mètres chacune.

2° Le lançage peut se faire au moyen de treuils fixés *sur le tablier*, et d'un jeu de câbles et poulies dont le *point fixe est* déplacé au fur et à mesure de l'avance-

ment, et appliqué successivement sur la plate-forme des terrassements, sur les culées ou sur les piles.

Le tablier repose sur des châssis de rouleaux fixés sur des paquets de rails surélevés de 15 centimètres environ au-dessus de sa position définitive. Pour diminuer le tirage on donne généralement une petite pente au chemin de roulement.

Des palées intermédiaires peuvent être établies pour diminuer la portée du lançage.

HYDRAULIQUE

Principe de Pascal.

Si, sur une portion plane quelconque d'un liquide, on exerce une pression déterminée, cette pression se transmet dans tous les sens, et sans altération à toute portion de paroi plane ayant une surface égale à la première.

Vases communiquants

Conditions d'équilibre :

Cas d'un seul liquide. — Surfaces libres sont dans le même plan horizontal.

Cas de deux liquides superposés. — 1° Surfaces libres et surface de séparation des deux liquides sont dans des plans horizontaux.

2° Hauteurs des deux liquides au-dessus de la surface de séparation sont en raison inverse de leur densité.

Application (1). — On donne deux vases communiquants cylindriques contenant du mercure en équilibre.

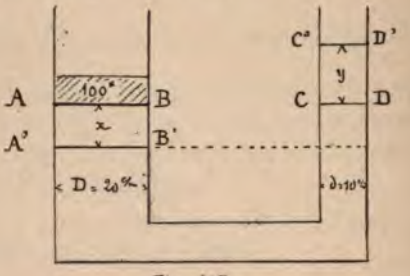


Fig. 157

Sur la surface AB, on fait reposer un piston pesant 100 kilogrammes. Sur la surface CD, on verse une co-

lonne d'huile de 3 mètres de hauteur. On demande de déterminer la variation de niveau dans chaque vase.

Densité du mercure = 13,6
» de l'huile = 0,9

La hauteur de l'huile qu'il faudrait verser sur AB pour produire le poids de 100 kilogrammes serait :

$$3{,}1416 \times \frac{0{,}20^2}{4} \times h \times 0{,}9 \times 1000 = 100^k$$

$$h = \frac{10}{3{,}1416 \times 0{,}9} = 3^m{,}50.$$

Les conditions d'équilibre ne seront pas changées si on se contente de verser sur AB une hauteur d'huile égale à $3^m{,}50 - 3^m{,}00 = 0^m{,}50$.

AB sera venu en A'B' et CD en C'D'.

(1) $$\frac{x+y}{0{,}50} = \frac{0{,}9}{13{,}6}$$

(2) $$\frac{x}{y} = \frac{0{,}10^2}{0{,}20^2}$$

d'où $x = 0^m{,}0065$
$y = 0^m{,}026.$

Application (2). — CALCUL DES AIGUILLES D'UN BARRAGE.

Longueur de l'aiguille AB = a.
Largeur » = b.
Epaisseur » = h.
Poussée amont $P = 500\, b\, H^2$
Poussée aval $P = 500\, b\, H'^2$

Moment fléchissant maximum.

PREMIER CAS. — Le point d'application M se trouve au-dessus du niveau d'aval :

$$Z < H - H'$$

$$\mu = Q\,(a - H + z) - \frac{1000}{6} \times b \times z^3$$

Le maximum de μ sera donné par :

$$z = \sqrt[3]{\frac{H^3 - H'^3}{3a}}.$$

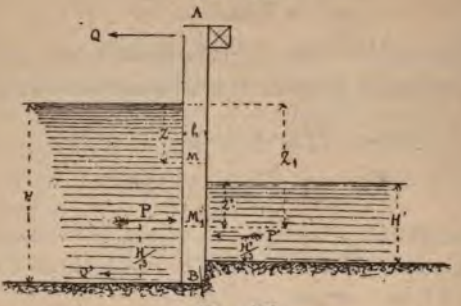


Fig. 158

Deuxième cas. — $Z > H - H'$. Le point M_1 se trouve au-dessous du niveau d'aval. Alors :

$$z_1 = H - H' + z'$$

(en ne tenant pas compte du redan au point B.)

$$z' = z_1 - (H - H')$$

$$\mu_1 = Q(a - H + z_1) - \frac{1000}{6} b z_1^3 + \frac{1000}{6} b z'^3$$

On remplacera z' par sa valeur :

$$z' = z_1 - (H - H')$$

Le maximum de μ_1 sera alors donné par :

$$z_1 = \frac{H^2 + HH' + H'^2}{6a} + \frac{H - H'}{2}$$

Ce sera le plus grand de ces deux maxima qui entrera dans l'équation $R = \frac{V\mu}{I}$ pour déterminer les dimensions de l'aiguille.

(Voir plus loin : *Presses hydrauliques*).

Principe d'Archimède.

Tout corps plongé dans un liquide perd une partie de son poids égale au poids du volume déplacé.

Problème. — Un morceau de fer de 10 kilogrammes flotte à la surface du mercure renfermé dans un vase cylindrique de $0^m,30$ de diamètre. On verse dans le vase une quantité d'eau suffisante pour couvrir complètement le fer. On demande de déterminer la variation de niveau qu'a subie le mercure dans le vase.

Fig. 159

Densité du fer = 7,7
» du mercure = 13,6

V_m = volume plongeant dans le mercure en décimètres cubes.

$\frac{10}{7,7} - V_m$ = volume plongeant dans l'eau.

$$10^k = V_m \times 13,6 + \left(\frac{10}{7,7} - V_m\right)1 = 12,6\,V_m + \frac{10}{7,7}$$

d'où : $V_m = \frac{67}{7,7 \times 12,6}$.

Avant l'addition d'eau, le fer plongeait d'une quantité $= \frac{10}{13,6}$.

La masse de fer s'est donc relevée d'une hauteur correspondant à la différence des volumes :

$$\frac{10}{13,6} - \frac{67}{7,7 \times 12,6} = 0^{déc.3},045.$$

Le niveau du mercure se sera abaissé de x par l'addition d'eau tel que :

$$3,1416 \times 0,15^2 \times x = 0,000\,045$$

d'où : $x = \frac{0,000\,045}{0,070\,66} = 0^m,0006.$

Applications diverses : Flottaison des navires. — Densité des corps.

Ecoulement par un orifice en mince paroi.

Vannes.

Vitesse par seconde $= V = \sqrt{2g\,H}$

H = distance du niveau au centre de gravité de l'orifice.
$g = 9{,}8088$.

Débit par seconde $= Q = m\Omega \times \sqrt{2g\,H}$

m = coefficient de contraction = 0,62 environ.
Ω = section de l'orifice.

Pour une vanne inclinée à 45° :

$$Q = 0{,}80\,\Omega\,\sqrt{2g\,H} \quad (\Omega \text{ section droite})$$

ECOULEMENT PAR AJUTAGES.

1° cylindrique :

$$Q = 0{,}82 \times \Omega\,\sqrt{2g\,H}$$

2° Convergent :

$$Q = 0{,}95 \times \Omega\,\sqrt{2g\,H}$$

maximum correspondant à un angle de 13° ½ environ.

Ω = section à l'extrémité de l'ajutage.

3° Ajutage rentrant de Borda :

$$Q = 0{,}50\,\Omega\,\sqrt{2g\,H}$$

H = hauteur du niveau au centre de gravité de l'orifice.

Travail produit par l'eau s'écoulant par un orifice en mince paroi = QH.

ECOULEMENT PAR UN DÉVERSOIR EN MINCE PAROI

$$Q = 0{,}40\,LH\,\sqrt{2g\,H}$$

L = largeur du déversoir ;

H = hauteur du niveau au-dessus du seuil avant la dénivellation ;

$g = 9{,}8088$.

Fig. 160

Dans le cas où la largeur du déversoir est égale à celle du canal d'amenée, comme pour les roues hydrauliques :

$$Q = 0{,}443\ LH\sqrt{2gH}.$$

ECOULEMENT PAR UN DÉVERSOIR SUIVI D'UN COURSIER

$$Q = 0{,}35\ LH\sqrt{2gH}.$$

Remarque. — Dans le cas où la vitesse à l'amont d'un déversoir reste appréciable au lieu d'être nulle, il faut en tenir compte :

$$Q = KLH\sqrt{2g\left(H + \frac{V_o^2}{2g}\right)}$$

K = 0,40 ; 0,443 ou 0,35 suivant le cas

V_o = vitesse à l'amont du déversoir ;

$g = 9{,}8088$.

Fig. 161

ECOULEMENT PAR UN ORIFICE EN MINCE PAROI DANS LE CAS D'UNE PRESSION H' S'EXERCANT SUR LA SURFACE DU LIQUIDE.

Théoriquement :

$$V = \sqrt{2g\,(H + H')}$$

H' = pression transformée en colonne de liquide.

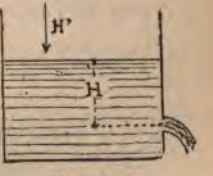


Fig. 163

Temps en secondes que mettra à se vider un réservoir de section S, *contenant une hauteur d'eau H, à la base duquel est percé un orifice de section* Ω.

1° Le vase se vide naturellement.

$$T = \frac{2S\sqrt{H}}{m\Omega\sqrt{2g}}$$

2° Le niveau restant constant :

$$T' = \frac{1}{2}T = \frac{S\sqrt{H}}{m\Omega\sqrt{2g}}$$

T' = Temps nécessaire pour écouler un cube égal à celui du vase = (S × H).

ÉCOULEMENT
PAR UN ORIFICE NOYÉ SUR LES DEUX FACES

Fig. 163

$V = \sqrt{2g\,(h - h')}$

$Q = 0{,}62 \times \Omega \times \sqrt{2g\,(h - h')}$

$h - h'$ différence de niveau dans les deux vases.

Temps au bout duquel les deux niveaux se trouveront dans un même plan; un vase se vidant pour remplir l'autre.

$$T = \frac{2S \times S'\sqrt{h - h'}}{m\Omega\sqrt{2g}\,(S + S')}$$

S et S' = Section des deux vases.

$h - h'$ = Différence de niveau au moment où l'on ouvre la vanne.

Ω = Section de l'ouverture de communication.
m = Coefficient de la dépense = 0,62.
g = 9,8088.

CANAUX DÉCOUVERTS

VITESSES DE FOND QUI AFFOUILLENT LES DIVERS TERRAINS

Terre ordinaire .	= 0m,07	Cailloux	= 0m,90
Argile grasse . .	= 0m,15	Schistes ordinaires .	= 1m,50
Sable	= 0m,30	Roche dure . . .	= 3m,00
Gravier	= 0m,60		

Mouvement uniforme. — Le canal a la même section et la même pente.

$Q = \Omega \sqrt{\frac{RI}{b_1}}$ formule permettant de trouver un élément connaissant tous les autres.

Q = débit du canal.

Ω = section constante du canal ;

$R = \frac{\Omega}{\chi}$ (χ = périmètre mouillé moins la ligne d'eau) ;

I = pente par mètre ;

b_1 = coefficient à chercher dans les tables ;

$\frac{Q}{\Omega}$ = vitesse moyenne d'écoulement = V.

Si $b_1 = 0{,}0004$, $V = 50\sqrt{RI}$, formule appliquée souvent.

Si le lit présente de grandes différences de profondeur, comme pour une rivière débordée, il faut calculer séparément les deux vitesses moyennes et additionner les deux débits.

Jaugeage des cours d'eau.

Sources et petits cours d'eau. — Le jaugeage s'effectue par vannes ou déversoirs.

On s'arrange de façon à maintenir le niveau d'amont constant, tout en faisant passer le débit total sur un déversoir ou par un vannage.

Débit des puits. — 1° On épuisera avec une pompe de façon à ce que le niveau reste constant. Si V est le cube jaugé en un temps t, le débit du puits égale le débit de la pompe $= \frac{V}{t}$.

2° H_0 = hauteur de l'eau avant l'opération ;

H_t = hauteur de l'eau après un temps t d'épuisement ;

V = volume épuisé pendant un temps t ;

Ω = section du puits :

Débit du puits :

$$Q = \frac{V - (H_o - H_t)\,\Omega}{t}$$

Grands cours d'eau. — Relever une section transversale et déterminer la vitesse moyenne en des points rapprochés de cette section. Diviser la section transversale en une série de sections élémentaires correspondant aux points d'expériences où l'on détermine la vitesse. La somme des débits représente le débit total.

Les vitesses se prennent à la surface ou à l'intérieur de la masse liquide.

1° Vitesse à la surface. — Au moyen de flotteurs.

V = vitesse maxima. — Elle se produit un peu au-dessous de la surface de l'eau.

U = vitesse moyenne.

$$V - U = 14\sqrt{RI}$$

On prend souvent $U = \frac{4}{5}$ V.

2° Vitesse à l'intérieur. — Au moyen du moulinet de Woltmann (semblable à l'anémomètre), ou du tube de Pitot.

Vitesse moyenne de la Seine à Paris :

0m,60; son débit = 130m3 par 1".

CONDUITES CYLINDRIQUES

Relation entre le rayon r de la conduite, la charge j par mètre courant, le débit q et la vitesse moyenne U.

$rj = b_1 U^2$ } De nombreuses tables donnent tout calculés ces éléments d'une canalisation.
$q = \pi r^2 U$ }

b_1 = en moyenne 0,000 625 pour les tuyaux neufs.

Le coefficient à employer dans les applications est :

b_1 = en moyenne $2 \times 0{,}000\,625 = 0{,}001\,25$ pour les tuyaux qui ont servi pendant un certain temps, et où des dépôts se sont formés.

Formule empirique :

$$D = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{Q^2}{j}}$$

D = 2r = diamètre.
Q = débit en mètres cubes par seconde.
j = charge par mètre courant.

Cette formule est déduite de la formule $rj = b_1 U^2$.

EXTRAIT DE LA TABLE DE DARCY DONNANT LES VALEURS DE b_1 DE LA FORMULE $rj = b_1 U^2$ POUR LES DIFFÉRENTS DIAMÈTRES DES TUYAUX EN FONTE NEUFS.

(Les valeurs de b_1 de cette table doivent être doublées dans les applications).

Diamètres	b_1	Diamètres	b_1	Diamètres	b_1
0.01	0.001801	0.35	0.000543	0.70	0.000525
0.05	0.000765	0.40	0.000539	0.75	0 000524
0.10	0.000636	0.45	0 000535	0.80	0,000523
0.15	0.000593	0.50	0.000532	0.85	0,000522
0.20	0.000571	0.55	0.000530	0.90	0.000521
0.25	0.000558	0.60	0.000528	0.95	0.000520
0.30	0.000550	0.65	0.000526	1.00	0.000519

Problème (1). — Une conduite de $0^m,20$ de diamètre a 400 mètres de longueur, et présente une différence de niveau entre l'amont et l'aval de $1^m,60$; déterminer la vitesse de l'eau dans la conduite et le débit à son extrémité.

La table précédente donne $b_1 = 0,000.571$ que l'on prendra égal à $0,000.571 \times 2$ pour tenir compte des dépôts.

$$j = \frac{1^m,60}{400} = 0^m,004 \text{ par mètre}$$

$$rj = b_1 U^2, \quad \text{d'où} \quad U = \sqrt[2]{\frac{0,10 \times 0,004}{0,001142}} = 0^m,591$$

et le débit :

$$Q = \pi \times 0,10^2 \times 0,591 = 18^{lit.},54 \text{ par seconde.}$$

Problème (2). — Une conduite de 400 mètres de longueur et présentant une dénivellation entre l'amont et l'aval de $1^m,60$, doit débiter à son extrémité 18 litres à la seconde; déterminer son diamètre et la vitesse de l'eau.

La formule précédente donne :

$$D = \frac{1}{3}\sqrt[5]{\frac{Q^2}{j}} = \frac{1}{3}\sqrt[5]{\frac{(0,018)^2}{0,004}} = \frac{1}{3}\sqrt[5]{0,081}$$

Logarithme $0{,}081 = \overline{2},9084850$

$\frac{1}{5}$ logarithme $0{,}081 = \overline{1},7816970$

d'où : $D = 0^m,200$

et la vitesse :

$$U = \frac{Q}{\pi \times \overline{0{,}10}^2} = 0^m,57.$$

Emploi d'un réservoir supplémentaire B pour l'alimentation d'un orifice O.

Le réservoir A existant seul et la conduite s'arrêtant en O.

Le débit $q = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h}{l}}$ { Déduit des relations précédentes en remplaçant j par $\frac{h}{l}$.

Si un second bassin B est établi près de l'orifice, le débit total en O devient :

$$Q = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h}{l}} + \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h'}{l'}}$$

Si l' est très-petit, le débit prendra une valeur considérable jusqu'à épuisement du bassin supplémentaire B.

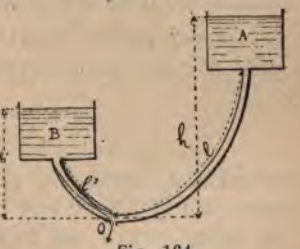


Fig. 164

Les réservoirs supplémentaires constituent une très bonne précaution contre les incendies.

Effets d'une prise d'eau intermédiaire sur le débit d'extrémité d'une conduite.

Soit une conduite CO débitant Q à son extré-

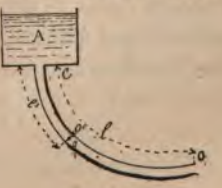


Fig. 165

mité O ; si on établit une prise d'eau en O' débitant q, le débit en O deviendra :

$$Q' = Q - q \times \frac{l'}{l}.$$

Conduite a débit uniforme sur tout son parcours et a débit d'extrémité

Problème. — Quel serait pour la même charge et la même longueur le débit Q' à l'extrémité d'une conduite à service mixte, si l'on supprimait le service uniforme sur tout son parcours.

$$Q' = P + 0{,}55\,Q_1$$

P = débit à la sortie de la conduite dans le service mixte.

Q_1 = débit total des dérivations dans le service mixte.

Dans le calcul de la conduite on peut donc ne pas se préoccuper du service de route et opérer comme si elle n'avait qu'un service d'extrémité égal à

$$P + 0{,}55\,Q_1.$$

Comparaison entre le cas d'un tuyau a débit uniforme sur tout son parcours et le cas de ce même tuyau ne débitant qu'a son extrémité.

A charge égale, le débit total dans le cas du service d'extrémité seul étant 1, le débit total dans le cas du service uniforme seul sera :

$$\sqrt{3} = 1{,}73.$$

Conduites aboutissant a deux réservoirs a niveaux constants

$$rj = b_1 U^2$$

$$j = \frac{h}{l}$$

$$U = \sqrt{\frac{rh}{b_1 l}}$$

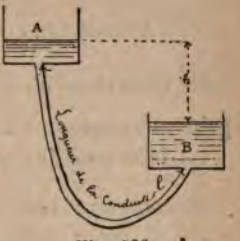


Fig. 166

Il passe du réservoir A dans le réservoir B un volume d'eau donné par l'équation :

$$q = \pi r^2 \times U$$

ou

$$q = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h}{l}}$$

Orifice alimenté par deux réservoirs

L'orifice O étant fermé, il arrive en B une quantité d'eau :

$$q = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h}{l + l'}}$$

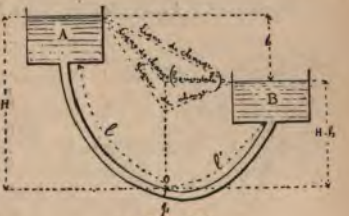


Fig. 167

Si on ouvre le robinet O pour laisser échapper un débit q_1, il n'arrivera plus en B que

$$q' = q - \frac{lq_1}{l + l'}$$

Le réservoir B recevra de l'eau du réservoir A tant que le débit q_1 du robinet sera inférieur à $\sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1} \times \frac{h}{l}}$ ou $q \times \sqrt{\frac{l + l'}{l}}$ correspondant à la ligne de charge horizontale.

A ce moment, il y a équilibre entre l'orifice O et le réservoir B.

Lorsque le débit q_1 dépasse cette valeur, les deux réservoirs concourent à l'alimentation de l'orifice O.

L'orifice étant complétement ouvert, il recevra du réservoir A un débit : $Q = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1}} \times \frac{H}{l}$ pour une charge nulle, et du réservoir B un débit : $Q' = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1}} \times \frac{(H - h)}{l'}$ pour une charge nulle.

Le débit total de l'orifice sera égal à la somme $Q + Q'$.

Remarque : Les deux réservoirs fourniront une quantité d'eau égale quand l'orifice O partagera le tuyau dans le rapport des charges H et $H - h$, c'est-à-dire qu'on aura :

$$\frac{H}{l} = \frac{H - h}{l'}.$$

CONDUITE ALIMENTÉE PAR DEUX RÉSERVOIRS

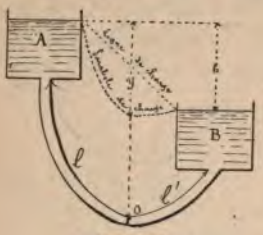


Fig. 168

$l + l' = L$

l = longueur alimentée par A.

l' = longueur alimentée par B.

Q' = volume que A enverrait en B s'il n'y avait pas le service de route.

$$Q' = \sqrt{\frac{\pi^2 r^5}{b_1}} \times \frac{h}{L}$$

Q_1 = cube total du service de route.

P = service d'extrémité en B existant en même temps que le service de route.

On a :

$$Q'^2 = P^2 + PQ_1 + \frac{1}{3}Q_1^2$$

Le réservoir B cessera d'être alimenté quand :

$$Q_1 = 1{,}73\ Q'$$

Quand Q_1 dépasse 1,73 Q' le bassin B devient lui-même réservoir d'alimentation.

Soit $y =$ perte de charge entre le réservoir A et le point O.

On a les relations suivantes :

Pour la conduite AO : $$y = \frac{b_1}{\pi^2 r^5} \times \frac{Q_1^2}{L^2} \times \frac{l^3}{3}$$

» » BO : $$y - h = \frac{b_1}{\pi^2 r^5} \times \frac{Q_1^2}{L^2} \times \frac{l'^3}{3}$$

$$L = l + l'$$

3 équations entre 7 variables

$$y, Q_1, r, L, l, l', h ;$$

4 étant données on pourra déterminer les 3 autres.

Le réservoir B est un auxiliaire puissant de l'alimentation; il emmagasine l'excès de liquide fourni par A, et lui vient en aide quand la dépense de route augmente. Il permet donc de réduire le diamètre des conduites, sans trop exagérer cependant, car il faut que, pendant le chômage du service de route, la conduite puisse rendre à B ce qu'il a perdu.

Plus la dépense d'eau est irrégulière, plus il faut augmenter le diamètre.

Causes qui influent sur le débit des conduites

C'est le diamètre des conduites qui exerce la plus grande influence sur leur débit.

Cette influence est cinq fois plus grande que l'augmentation de charge ou la diminution de la longueur des conduites.

Il n'y a donc pas grand intérêt à faire des dépenses

pour augmenter la charge ou diminuer la longueur des conduites.

Les coudes brusques sont à éviter.

Jets d'eau.

L'orifice O porte un ajutage conique de section excessivement petite par rapport à celle de la conduite.

La hauteur du jet au-dessus de O sera :

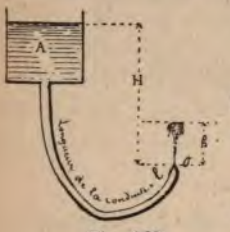


Fig. 169

$$h = H - \frac{b_1 U^2 l}{r} \text{ (perte de charge)}$$

U = vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite; elle est très faible.

S'il n'y avait pas d'ajutage en O, $h = \frac{u^2}{2g}$, généralement très faible.

Dans la pratique, l'eau ne s'élève qu'à une hauteur $= 0{,}95 \times h$.

Vitesse de l'eau sortant de l'ajutage O $= \sqrt{2\,g\,H}$.

Formule empirique :

$$H = h + \frac{h^2}{100}$$

Siphons.

Fig. 170

Vitesse théorique

$$V = \sqrt{2g\,(H - h)}$$

Vitesse pratique U sera donnée par

$$r\,(H - h) = b_1\,l\,U^2$$

r = rayon intérieur du tube.

l = développement total du siphon.

b_1 = double des valeurs de la table de Darcy.

La pression au sommet = pression atmosphérique moins h, ce qui fait que l'air dissous s'accumule et arrête l'écoulement. On y obvie en retirant cet air au moyen d'une petite pompe à air.

Distribution d'eau dans les villes ou dans les gares de chemins de fer.

Calcul de la puissance de la machine. — Exemple : On veut élever 1.000 mètres cubes d'eau en 24 heures, à 30 mètres de hauteur, avec une conduite de 1.500 mètres de longueur et de 162 millimètres de diamètre. Quelle sera la puissance de la machine à vapeur employée ?

$$rj = b_1 U^2$$

r = rayon = $0^m,081$

Section d'écoulement = $0^{m^2},0206$.

Q = débit par seconde = $0^{m^3},0116$.

U = vitesse moyenne à la seconde = $0^m,56$.

b_1 = 0,000588 calculé par interpolation en se servant de la table précédente de Darcy.

Il convient de prendre le double de cette valeur pour des tuyaux ayant fait un certain usage, ou b_1 = 0,001176.

Cette valeur de b_1 se rapproche de 0,00125 qui est la valeur moyenne généralement admise dans la pratique.

Perte de charge par mètre courant :

$$j = \frac{b_1 U^2}{r} = 0^m,0046$$

Soit pour 1.500 mètres une perte de charge totale de $6^m,90$.

Hauteur à considérer = $30^m + 6^m,90 = 36^m,90$.

Travail à produire par seconde = $11^{lit},6 \times 36,9$ = 428 kilogrammètres.

Si l'on suppose : Rendement des pompes = 0,60,
— de la machine = 0,70,
la force nominale de la machine à vapeur sera :

$$\frac{428}{75 \times 0{,}60 \times 0{,}70} = 13^{\text{chév.}},6.$$

Un réservoir d'air comprimé servira de régulateur en maintenant le mouvement uniforme ; il emmagasinera l'excès de travail ou comblera le déficit, suivant le cas. On évitera le chômage en ayant double moteur et double système de pompes.

Résumé d'une installation de prise d'eau en rivière pour alimentation.

(Distribution d'eau de Libourne exécutée par M. Noël)

Machines à vapeur compound actionnent des pompes verticales puisant l'eau de la Dordogne, et d'autres pompes refoulent l'eau filtrée aux réservoirs d'alimentation.

L'eau arrive des pompes d'aspiration dans de grands cylindres horizontaux animés d'un mouvement de rotation par vis sans fin et roues héliçoïdales. Ces cylindres, appelés *épurateurs*, renferment des riblons de fer dont l'oxydation détruit les matières organiques contenues dans l'eau. Celle-ci traverse ensuite des tamis d'où elle tombe en cascades en s'aérant, puis elle arrive dans des bassins de décantation à rampes rapides et à chicanes. Des bassins de décantation l'eau est reçue dans des auges longitudinales, et tombe dans de grandes chambres voûtées de 10 à 15 mètres environ, à sol formé de béton sur lequel se trouvent des couches alternatives de briques, de gravier et de sable, et où elle *se filtre*. Les voûtes des chambres sont en ciment, avec *ossature métallique* formée de gros fils de fer cintrés,

reliés par des fils plus petits dans le sens des génératrices. Ces voûtes, dont l'épaisseur est de 10 centimètres environ, sont recouvertes d'une couche de terre de 30 centimètres. L'eau filtrée quitte les chambres et arrive dans un canal d'où elle est prise par les pompes et refoulée à plusieurs kilomètres, dans les réservoirs d'alimentation.

Ces réservoirs peuvent être supportés par des voûtes inégales, afin d'éviter des voûtes d'arêtes. Ils sont recouverts par des voûtes en béton de ciment, à ossature métallique formée de barres de fer cintrées, réunies par du fil de fer de 4 millimètres suivant les génératrices. Le tout est recouvert d'une plate-forme en terre.

Résistance des tuyaux pour conduites d'eau

La pression n'intervient généralement pas dans les calculs, à moins qu'elle ne soit excessive.

Pour les tuyaux en fonte pour conduite d'eau et de gaz, on adopte la formule :

$$e = 8 + \frac{D}{80}$$

e = épaisseur en millimètres.

D = diamètre intérieur en millimètres.

On se sert encore des formules suivantes, où la pression intervient :

Fonte $e = 0{,}002 \times dn + 0{,}010$

Fer $e = 0{,}0008 \times dn + 0{,}003$

e = épaisseur,

d = diamètre intérieur, } exprimés en mètres.

n = pression à laquelle on essaie les tuyaux, en atmosphères, c'est-à-dire la pression normale multipliée par 5.

La formule théorique est :

$$pd = 2Re$$

p = pression par mètre carré à laquelle on essaie les tuyaux ;

d = diamètre intérieur du tuyau ;

R = pression qu'on ne veut pas dépasser pour le métal travaillant à l'extension. Pour la fonte, R = 1.000.000 de kilogrammes.

e = épaisseur du tuyau.

Cette formule conduirait à des épaisseurs très fortes, si l'on considère que les tuyaux sont essayés à une pression 5 fois plus forte que celle qui doit leur être imposée.

Pour le plomb, R = 325.000 kilogrammes, et son prix est supérieur à celui de la fonte ; c'est pourquoi on a renoncé aux gros tuyaux en plomb.

Les eaux traversant des tuyaux en plomb ne sont considérées comme inoffensives que si elles contiennent des sels calcaires.

Résistance d'une sphère. — Elle est double de celle d'un tuyau cylindrique.

$$pd = 4\,Re$$

L'épaisseur est donc moitié de celle d'un tuyau cylindrique placé dans les mêmes conditions.

La ville de Paris emploie, pour les conduites en fonte, les épaisseurs suivantes, qui conviennent à une pression de 10 atmosphères :

Diamètres	Épaisseurs	Diamètres	Épaisseurs
0m10	9mm,3	0m50	15mm
0.20	10mm,3	0.60	17mm
0.30	12mm,3	0.80	19mm
0.40	13mm,3	1.00	21mm

Certaines administrations emploient les dimensions suivantes pour les tuyaux droits en fonte avec emboîtement et cordon pour les conduites d'eau et de gaz :

DIAMÈTRE intérieur des tuyaux	ÉPAISSEUR de la fonte au corps des tuyaux	POIDS du mètre courant de conduite	LONGUEUR du tuyau non compris l'emboîtement
0m042	7mm	9 kil.	2m00
0.054	7,5	13 »	2.00
0.067	8 »	18 »	2.00
0.081	8,5	20 »	3.00
0.108	9 »	27 »	3.00
0.135	9 »	34 »	3.00
0.162	10 »	44 »	3.00
0.216	11 »	63 »	3.00
0.250	12 »	78 »	3.00
0,300	13 »	97 »	3.00

Quantité d'eau par tête d'habitant. — On admet qu'il faut donner au moins 100 litres d'eau par tête d'habitant et par jour.

Paris a 200 litres par tête ;

Bordeaux, 170 litres ;

Lyon, 100 litres ;

Marseille, 85 litres ;

Toulouse, 75 litres.

A Paris, on compte qu'un homme absorbe par jour 2 litres pour son alimentation et 18 litres pour l'usage extérieur.

Influence des fuites d'eau dans les tuyaux. — Les fuites ont une influence considérable sur l'eau dépensée. En 10 heures, une ouverture de 1 millimètre carré sous une charge d'eau de 15 mètres, aura laissé perdre ; le coefficient de dépense étant supposé 0,62.

$$Q = 0{,}62 \times 0{,}000001 \sqrt{2 \times 9{,}8088 \times 15} \times 10 \times 3600 = 380 \text{ litres.}$$

Calcul des réservoirs en tole.

Les réservoirs carrés ne se prêtent pas aux calculs.

Epaisseurs des viroles des réservoirs ronds. — Chaque virole aura une épaisseur uniforme égale à celle que doit avoir la partie la plus fatiguée, c'est-à-dire sa base.

$$e = 0{,}000\,286 \times z \times r + 0{,}0015$$

(La tôle est supposée ne travailler qu'à $3^k{,}5 \times 10^6$)

z = distance du niveau de l'eau à la base de l'anneau considéré.

r = rayon de l'anneau.

Fig. 171

Epaisseur du fond.

$$e = 0{,}000\,166\ H\rho + 0{,}0015$$

(La tôle est supposée ne travailler qu'à $3\ k. \times 10^6$).

H = distance du niveau de l'eau au fond du réservoir.

ρ = rayon de la calotte sphérique du fond.

On prend souvent

$$\rho = 2r$$

Si l'on veut que l'épaisseur donnée au fond soit la même que celle de la dernière virole

$$\rho = 1{,}72 \times r.$$

Rivets nécessaires pour fixer le fond du réservoir. — Si :

n = nombre de rivets fixant le fond à la cornière,

n' = celui fixant la cornière à la paroi cylindrique du réservoir,

On a : $$\frac{n}{n'} = \frac{\rho}{r}.$$

Conditions à observer dans la pose des réservoirs.

Le bord intérieur de la couronne qui supporte le réservoir ne doit pas être trop éloigné de ses parois.

INSTALLATION D'UN RÉSERVOIR

Fig. 172

Moment fléchissant dans la section $mn = \pi r^2 1000\,H\delta$ approximativement, d'où

$$e = \sqrt{\frac{3000\,H \times \delta \times r}{R}}$$

e = épaisseur de la cornière A reposant sur la couronne en fonte B ;

δ = distance de l'axe des boulons fixant la cornière A à la couronne B, à la section d'encastrement $m\,n$.

De plus, la condition relative à l'effort tranchant donne :

$$\frac{1000\,H\pi r^2}{2\pi re} \leqslant 0{,}8\,R \quad \text{d'où} \quad e \geqslant \frac{625\,Hr}{R}.$$

ROUES HYDRAULIQUES

Conditions à remplir. — Annuler les chocs de l'eau à l'entrée, annuler l'agitation de l'eau en contact avec la roue, annuler la vitesse de l'eau à la sortie.

L'eau doit autant que possible agir par son propre poids seul.

Roues en dessus à augets.

1° *Sans tête d'eau.* — Niveaux amont et aval à peu près constants. La roue ne doit pas plonger. Coursier au déversement. Rendement = 0,80.

2° *Avec tête d'eau.* — Niveau amont peut varier. La roue ne doit pas plonger. Coursier au déversement. Rendement = 0,70.

3° *A chute faible.* — L'eau arrive entre le sommet et le centre. Rendement = 0,70.

Caractères généraux.

Chutes comprises entre 3 *et* 12 mètres. — Vitesses à la circonférence comprises entre 1 et $2^m,50$ par seconde. Largeur est inférieure à 5 mètres. A l'amont on évite la contraction par des arrondis du vannage, et

on diminue la longueur du coursier. Levée de la vanne de 6 à 10 centimètres.

Ces roues conviennent surtout à des chutes à faible débit et à grande hauteur.

V = vitesse de l'eau arrivant sur la roue, = vitesse de l'eau dans le canal d'amenée.

v = vitesse de la roue à la circonférence = 0,30 à 0,80 V.

V — v = vitesse relative de l'eau ; elle est absorbée par les chocs.

Pour avoir un rendement maximum, il faut que les roues marchent lentement.

$$P = \frac{l n S v}{2 \pi R}$$

R = rayon de la circonférence de la roue.

P = débit de la chute ou du cours d'eau par seconde.

n = nombre d'augets.

l = largeur de la roue.

v = vitesse de la roue à la circonférence extérieure.

Pour une vitesse moyenne de 1m,30 la dépense d'eau est d'environ 100 litres par seconde et par mètre de largeur de roue.

S = Surface de la partie pleine du profil d'un auget.

Travail moteur recueilli par la roue :

$T_m = 0{,}75$ PH avec coursier
$T_m = 0{,}60$ PH sans coursier

Dans le cas de petites roues à marteaux marchant à grande vitesse, où l'eau rejaillit :

$$T_m = 0{,}40 \text{ PH}$$

H = différence de hauteur entre le niveau d'amont et le niveau d'aval.

Roues de côté.

Le niveau d'amont se trouve au-dessous du centre.

Il existe un coursier cylindrique entre le déversoir et l'aval.

Ce système convient surtout aux cours d'eau ayant un débit régulier.

Chute comprise entre 1 et 3 mètres.

Vitesse à la circonférence 1 à $1^{m},50$.

$$P = l.h.d\,\frac{n}{2\pi R}\,v$$

P = débit de la chute par seconde.
l = largeur de la roue.
h = hauteur dont les palettes entrent dans le bief d'aval quand elles se trouvent verticales.
= 0,20 en moyenne.
d = espacement moyen des palettes.
n = nombre d'aubes.
R = rayon de la roue.
v = vitesse de la circonférence extérieure

Pour une vitesse moyenne de $1^{m},30$, la dépense d'eau est d'environ 200 litres par seconde et par mètre de largeur de roue.

Roue Sagebien ou roue vanne. — C'est une roue de côté à aubes planes emboîtées dans un coursier cylindrique.

Les aubes sont très hautes, de $1^{m},50$ à 2 mètres, et la roue est noyée sur une grande hauteur des aubes.

Vitesse à la circonférence est moitié de celle des roues de côté les plus lentes = $0^{m},65$.

Il y a deux vannes motrices : une verticale en amont est entièrement levée quand la roue marche ; une cylindrique, près de la roue, pour régler la prise d'eau.

Les pertes résultant dans les roues de côté des vitesses de l'eau à l'entrée et à la sortie sont ici très réduites par l'épaisseur très grande de la lame d'eau d'alimentation. Cette roue est beaucoup moins large, et par suite moins lourde qu'une roue ordinaire. Son diamètre doit être grand pour que les aubes soient peu inclinées. Les aubes sont très multipliées.

Elle peut dépenser 1.200 litres par seconde et par mètre de largeur.

Convient surtout aux chutes de 0,60 à 1^m,50.

Cette roue fait au plus deux tours par minute, ce qui exige un diamètre considérable pouvant atteindre 12 mètres.

Rendement = 0,80,

$$T_m = 0{,}80\,PH$$

Cette roue agit à la manière d'un compteur, sans choc.

Vitesse de la roue égale celle de l'eau amont.

Roues en dessous.

1° *A aubes planes ou à chocs.*

$$T_m = 0{,}30\,PH$$

Elle est très rapide. Chutes de 1 à 2 mètres.

$$v = 0{,}40\,V.$$

2° *A aubes courbes. — Roue Poncelet.*

Aubes et coursiers courbes.

L'eau entre sous un angle de 30° tangentiellement aux aubes.

Les chocs et la vitesse à la sortie sont diminués.

Chutes inférieures à 1^m,50. — Levée de la vanne 0,20 à 0.30.

Rendement = 0,60 ;

$$T_m = 0{,}60\ PH \qquad v = 0{,}55\ V$$

On la fait en fer et fonte pour augmenter son inertie, et par suite la régularité du mouvement.

Application. — On a une chute de $1^m{,}10$ dont le débit est de 1200 litres à la seconde ; déterminer la puissance, la largeur et le diamètre de la roue.

$$T_m = 0{,}60 \times 1{,}10 \times 1200 = 792 \text{ kilogrammètres} = \frac{792}{75} = 10^{\text{chev.}},60$$

La vanne étant levée de 0,25 et son inclinaison étant de 45° (0,80 est le coefficient de la dépense pour la vanne à 45°).

$$\text{Débit} = 0{,}80 \times 0{,}25 \times l\sqrt{2g\,(1{,}10 - 0{,}25)} = 1^{m3},20$$

$$\text{d'où} \quad l = 1^m,47, \quad \text{soit} \quad 1^m,50$$

$$v = 0{,}55\ V = 0{,}55\sqrt{2g\,(1{,}10 - 0{,}25)} = 2^m,25.$$

Connaissant v, vitesse à la circonférence, et la section des aubes, on en déduira le diamètre de la roue qui dépendra aussi des circonstances locales.

Roues pendantes.

Se meuvent dans un courant à grande section

$$T_m = 20\,SV^3$$

T_m = travail moteur que peut transmettre l'arbre de la roue.

S = surface de la partie plongée de l'aube placée sur le rayon vertical de la roue mesurée suivant ce rayon.

V = vitesse à la surface du courant.

TURBINES

Elles conviennent aux chutes grandes et petites : depuis 200 mètres jusqu'à 0,50.

Diamètres s'écartent généralement peu de 2 mètres et l'épaisseur des couronnes de $0^m,30$.

Reçoivent l'eau sur toutes les aubes à la fois et de ce fait dépensent beaucoup d'eau.

L'eau arrive sans choc et sort avec une vitesse très faible.

Le débit varie de 12 mètres cubes à moins de 1 mètre cube à la seconde.

Nombre de tours par minute de 20 à 350.

Les orifices d'entrée et de sortie sont distincts, et l'eau chemine toujours dans le même sens sur toutes les aubes.

Se prêtent mal aux variations notables du débit.

Turbine Fourneyron. — A axe vertical. Se compose de 2 roues ou couronnes : la roue fixe ou directrice se trouvant à l'intérieur de la roue mobile.

L'eau entre par la circonférence intérieure et sort par la circonférence extérieure.

Cette turbine a sa couronne mobile immergée et verse l'eau latéralement. Elle est dite à force centrifuge.

$T_m = 0{,}70\ Q\ H$

$V = 0{,}75\sqrt{2\,g\,H}$ = vitesse de l'eau à son arrivée sur la roue mobile.

$v = 0{,}80\sqrt{2\,g\,H}$ = vitesse de la roue à la circonférence extérieure.

H = différence de niveau entre le bief d'amont et le bief d'aval.

$\frac{r}{R} = 0{,}70$ $\left\{\begin{array}{l} r = \text{rayon intérieur de la roue.} \\ R = \text{rayon extérieur de la roue.} \end{array}\right.$

Q = débit du cours d'eau par seconde.

Turbine Fontaine ou d'Euler. — A axe vertical. Se compose de deux roues ou couronnes de même diamètre superposées : la supérieure ou directrice est fixe, l'inférieure est mobile.

L'eau entre par le haut et sort par le bas par l'effet de la pesanteur.

Verse l'eau latéralement

$T_m = 0{,}70\ Q\ H$ $\left\{\begin{array}{l} \text{quand les vannes} \\ \text{sont entièrement} \\ \text{levées et la tur-} \\ \text{bine dénoyée.} \end{array}\right.$ $\left\{\begin{array}{l} \text{l'effet utile} \\ \text{étant maxi-} \\ \text{mum dans ce} \\ \text{cas seulement} \end{array}\right.$

$V = 0{,}80\sqrt{2\,g\,H}$ = vitesse de l'eau à son arrivée sur la roue.

$v = 0{,}50\sqrt{2\,g\,H}$ = vitesse de la roue au milieu de la longueur des aubes.

H = différence de niveau entre le bief d'amont et le bief d'aval.

Q = débit du cours d'eau par seconde.

Le rendement est maximum quand la turbine est au-dessus du niveau d'aval, c'est-à-dire dénoyée.

COMPARAISON D'UNE TURBINE A COURONNES SUPERPOSÉES A LIBRE DÉVIATION, MARCHANT A GRANDE VITESSE, AVEC UNE TURBINE MARCHANT A PETITE VITESSE.

Exemple : Q = 1.800 litres par seconde.
H = 3 mètres. La turbine n'est pas immergée et l'eau est admise sur toute la circonférence.

Rendement correspondant à petite vitesse = 45 tours par minute $= 0{,}70$	Rendement correspondant à grande vitesse = 110 tours par minute $= 0{,}60$

L'installation d'une turbine à petite vitesse est plus coûteuse que celle d'une turbine à grande vitesse.

Si les dimensions d'une turbine à petite vitesse sont trop grandes, on choisit la turbine à grande vitesse.

Pour une chute en toute saison suffisante, on choisira la turbine à grande vitesse.

Pour un cours d'eau susceptible de grossir considérablement, l'on installera une turbine à petite vitesse et une turbine à grande vitesse et l'on fera fonctionner la turbine à grande vitesse par les crues.

Turbines semblables du système a axe vertical et a couronnes superposées.

Si r rayon, Q débit, H chute, sont les éléments d'une turbine.

r' rayon, Q' débit, H' chute, les éléments d'une turbine semblable.

$$\frac{r^2}{r'^2} = \frac{Q}{Q'}\sqrt{\frac{H'}{H}}$$

Turbines Callon et Girard.— Hydropneumatisation. Donnent un travail constant en permettant de faire varier le nombre des orifices par le vannage à rouleaux ou à tiroirs, et en assurant la libre déviation (couronne mobile dénoyée) même quand elles se trouvent en contrebas du niveau d'aval, par l'hydropneumatisation, qui consiste à comprimer de l'air au moyen d'une machine soufflante sous la couronne fixe.

L'avantage de ce système se fait sentir quand à une certaine époque de l'année, la chute est insuffisante pour faire arriver l'eau sur toute la circonférence.

Les frottements sont diminués par l'emploi du pivot hydraulique.

Turbines diverses. — A siphon et à vannettes verticales.

Roue hélice à axe horizontal ou turbine sans directrices de Girard.

Moulins à eau.

Mus par roues ou turbines.

Meules de $1^m,30$ à $1^m,50$ de diamètre faisant 120 à 100 tours par minute.

1 paire de meules exige de 3 à 6 chevaux-vapeur.

1 cheval produit 450 kilogrammes de mouture finie en 24 heures.

MACHINES ÉLÉVATOIRES

Pompes.

Ne pas donner, en général, plus de 8 mètres à la colonne d'aspiration.

POMPE ASPIRANTE ET ÉLÉVATOIRE

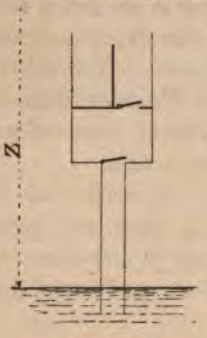


Fig. 173

Période d'aspiration. — Mouvement de bas en haut.

$$F = \pi \Omega Z + P - \pi V + f$$

F = effort nécessaire.

π = poids du mètre cube d'eau.

Ω = section du corps de pompe.

Z = hauteur totale en-

tre le niveau supérieur de l'eau au-dessus du piston et le niveau de l'eau dans le puits.

P = poids du piston.

V = volume du piston.

f = frottement du piston.

Période de descente :

$$F' = f' - (P - \pi V)$$

f' = frottement du piston à la descente.

Travail à dépenser pour la double course :

$$T = \pi \Omega Z c + (f + f')\, c = QZ + T_f$$

c = course du piston.

Q = poids de l'eau élevée.

POMPE ASPIRANTE ET FOULANTE A SIMPLE EFFET

Période d'aspiration :

$$F = \pi \Omega z + P + f$$

z = hauteur du piston au-dessus du niveau du puits.

Période de refoulement :

$$F' = \pi \Omega z' - P + f'$$

z' = hauteur de l'eau au-dessus du piston.

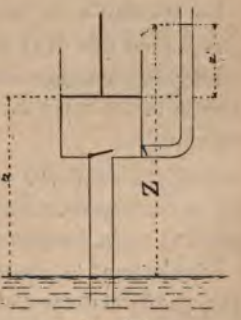


Fig. 174

Travail à dépenser pour la double course :

$$T = \pi \Omega Z c + (f + f')\, c = QZ + T_f$$

c = course du piston.

Z = hauteur de l'eau au-dessus du niveau du puits.

Frottement du piston dans les pompes

$$f = \mu \delta D \text{ (d'Aubuisson)}$$

D = diamètre du piston.

δ = hauteur d'eau due à la différence des pressions sur les deux faces du piston.

μ = coefficient variable suivant le genre de garniture.

Laiton poli. . .	$\mu = 7$	kilogrammes
Fonte	$\mu = 15$	»
Bois lisse . . .	$\mu = 25$	»
Bois dégradé . .	$\mu = 50$	»

Travail de frottement :

$$T_f = f \times c$$

c = course du piston.

Pompe aspirante et foulante a double effet

La régularité du travail et du débit est beaucoup plus grande que dans une pompe à simple effet.

Le grand avantage consiste dans la possibilité d'obtenir le même débit avec un piston de section moitié moindre.

Réservoirs d'air. — Régularisent le jeu des pompes en emmagasinant de l'eau quand le débit est plus grand et en la restituant quand le débit est plus petit.

Régularisent la pression dans les conduites, en faisant, par le matelas d'air, office de volant, et rendent le mouvement de l'eau continu malgré la marche intermittente du piston. De préférence ils sont en tôle ; de cette façon, on évite l'explosion qui pourrait se produire dans la fonte par un coup de bélier ; la tôle placée dans les mêmes conditions se fendrait et n'éclaterait pas.

Accouplement. — On multiplie les corps de pompe dans les installations de quelque importance pour régulariser le débit et la dépense de travail.

2 pompes à simple effet	s'accouplent à	180°
» double effet	»	90°
3 pompes à simple effet	»	120°

Effet utile des pompes

Le rendement R est d'autant plus grand que l'eau est élevée à une plus grande hauteur.

Pour effectuer un travail QH, c'est-à-dire élever un poids d'eau Q à une hauteur totale H comptée du niveau d'aspiration, il faut dépenser :

$$K\frac{QH}{75} \text{ en chevaux}$$

$K = 1{,}30$ à $1{,}50$.

Pompes ordinaires :

$$R = \frac{QH}{QH + T_f} = 0{,}65 \text{ à } 0{,}70$$

T_f = travail de toutes les résistances de conduites.

Pompes à incendie.—Munies d'un réservoir d'air.

$$R = \frac{Q v_1^2}{Q v_1^2 + 2g T_f} ; \qquad v_1 = \sqrt{2g P}$$

P = excès de pression du réservoir d'air sur la pression atmosphérique en colonne d'eau.

v_1 = vitesse à l'extrémité de la conduite qui dépend de la pression de l'air dans le réservoir d'air.

Proportions du corps de pompe. — Rapport du diamètre à la course :

Pompes à simple effet aspirantes . . .	$= \frac{1}{2}$
Pompes foulantes	$= \frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$
Pompes à double effet	$= \frac{1}{1{,}5}$ à $\frac{1}{2{,}5}$.

Le prix d'une pompe étant proportionnel à dl et la quantité d'eau proportionnelle à d^2l, il y a intérêt à augmenter d.

d = diamètre du corps de pompe.

Vitesse moyenne du piston.— De 10 à 40 mètres par minute.

Vitesse de l'eau dans les conduites d'aspiration et de refoulement de $0^m,70$ à $1^m,30$ par seconde.

Pompes centrifuges.

Analogues comme forme, mais en petit, aux roues à aubes.

Rendement = 0,50.

Vitesse la plus avantageuse = $1,5\sqrt{2gH}$.

H = hauteur totale d'ascension.

Le débit par minute peut aller à 15.000 litres et le nombre de tours par minute à 1.800.

Inconvénients.— 1° Rendement très faible de 0,50.

2° Se désamorçent sous l'influence des moindres rentrées d'air ; l'air se cantonnant au centre de la pompe et ne pouvant être expulsé.

3° Exigent des vitesses considérables et des transmissions de mouvement compliquées.

4° Ne se prêtent guère à des élévations supérieures à 10 ou 15 mètres.

Pompes centrifuges diverses. — Pompe Neut et Dumont, pompe Decœur, pompe Lacour.

Pompes rotatives.

Pompe Greindl. — Peut remplacer la pompe à piston à mouvement rectiligne alternatif dans toutes

ses applications, pour les gaz aussi bien que pour les liquides.

Se compose d'une caisse ouverte latéralement sur deux faces et dans laquelle se meuvent deux rouleaux cylindriques tangents dont l'un porte deux palettes faisant office de piston.

Peut élever l'eau à 50 mètres de hauteur et au-delà.

Rendement = 0,70 environ.

Machines à colonne d'eau.

L'eau y est employée comme force motrice, elle agit à la manière de la vapeur dans un cylindre.

Elles peuvent être à simple ou à double effet. Elles conviennent surtout pour une grande chute d'un faible débit.

Employées pour l'épuisement des mines en communiquant le mouvement à des pompes.

Machine a simple effet du Huelgoat (Finistère) établie par M. Juncker

Description :

A — tuyau d'amenée de l'eau motrice.

B — piston moteur actionnant des pompes.

E — tuyau d'évacuation de l'eau motrice.

G — piston mettant le cylindre moteur en communication avec le tuyau d'amenée A ou avec le tuyau d'évacuation E.

H — piston que l'on fait monter ou descendre par le jeu des petits pistons p, p' manœuvrés par la machine elle-même.

a — tuyau amenant l'eau motrice entre les pistons p, p'.

b — tuyau mettant la partie inférieure du piston *p* en communication avec le tuyau d'évacuation E.

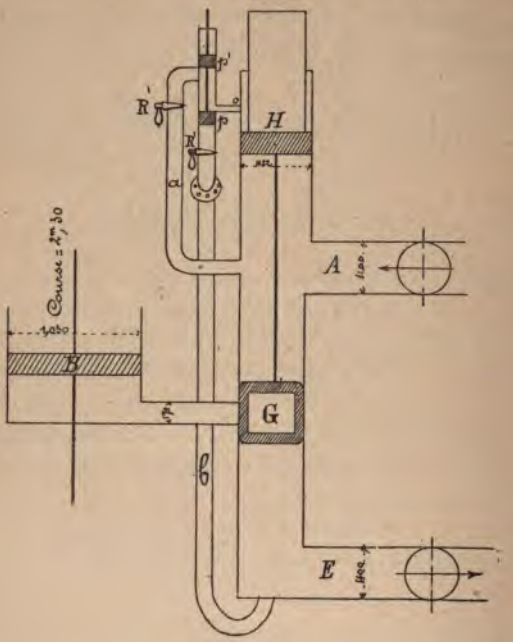


Fig. 174

o — orifice donnant accès à l'eau motrice sur le dessus du piston H.

R, R' — robinets.

Fonctionnement. — Le diamètre du corps de pompe où se meut le piston H est plus grand que celui où se meut le piston G, en sorte que le mouvement ascensionnel se produit. La descente aura lieu quand les pistons *p*, *p'* amenés dans la position de la figure

permettront l'accès de l'eau motrice dans l'espace annulaire supérieur du piston H.

L'arrêt de la machine sera obtenu par la fermeture du robinet R' qui assurait l'évacuation de l'eau qui agissait au-dessus du piston H.

Expérience :

D = $1^m,03$.

d = $0^m,422$.

H = chute de l'eau motrice = 60 mètres.

H' = hauteur d'élévation de l'eau = 230 mètres.

Course = $2^m,30$ au maximum. Le piston fait 5 coups et demi à la minute.

Eau dépensée pour la montée du piston moteur $= \frac{\pi}{4} \times 1,03^2 \times 2^m,30 = 1916$ litres.

Eau dépensée pour le jeu du régulateur (pistons p, p') environ 84 litres.

} 2000 litres pour un coup double

Q = eau dépensée en 1" $= \frac{2000 \times 5,5}{60} = 183$ lit.

q = eau élevée en 1" = 30 litres

$QH = \frac{183 \times 60}{75} = 147$ chevaux

$qH' = \frac{30 \times 230}{75} = 92$ chevaux

} Rendement = $\frac{92}{147} = 0,60$.

Machines a colonne d'eau diverses

Machine Reichenbach à simple effet (Elévation d'eau salée, construite en cuivre). — Rendement = 0.50.

Machine horizontale à double effet de M. Pfersch (Salines de Saint Nicolas, Meurthe). — Rendement = 0,60.

Machines à double effet Armstrong à cylindres conjugués. — Treuils, grues (Voruz), monte-charges.

Bélier hydraulique.

Principe sur lequel il est basé :

Un corps en état de repos ou de mouvement ne peut changer instantanément cet état ; le changement est toujours progressif et se fait dans un temps que l'on peut mesurer.

Bélier Bolée. — *Description :*

AA, corps du bélier.

B soupape d'arrêt équilibrée en partie par un contrepoids P. Cette soupape porte des fenêtres rectangulaires sur son pourtour, sa tige inférieure descend

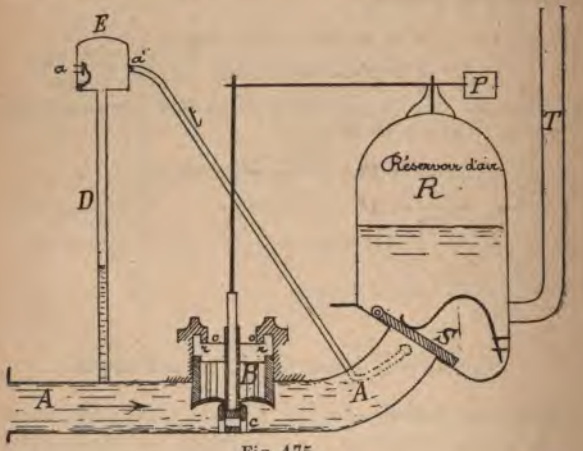


Fig. 175

dans un petit cylindre *c* percé latéralement ; le fond de ce cylindre est garni de rondelles élastiques. La partie supérieure de la soupape B est un cylindre mince qui pénètre dans une rainure annulaire *rr* dont la largeur est un peu plus grande que l'épaisseur de ce cylindre et où l'eau forme un matelas qui atténue le choc de la soupape B sur son siège.

S soupape de refoulement munie d'un ressort.

R réservoir d'air muni d'une soupape de sûreté.

D colonne creuse en fonte dont le sommet dépasse le niveau des plus hautes eaux d'aval et porte une boîte E.

E chambre à air munie d'un reniflard *a* avec bouchon à vis et clapet, et d'un clapet de refoulement *a'*. Les oscillations de la colonne d'eau aspirent l'air extérieur et le refoulent dans le tuyau *t* qui l'amène sous le clapet S pour alimenter le réservoir d'air R.

Fonctionnement de l'appareil.

Première phase. — L'eau qui descend du tuyau A commence à s'écouler par l'orifice *o* en passant par les fenêtres de la soupape B, la vitesse s'accélère, l'eau finit par soulever la soupape B et l'appliquer sur son siège.

Deuxième phase. — Alors l'écoulement se trouve brusquement suspendu, la force vive de l'eau fait monter l'eau dans le tube D, ouvre la soupape S et l'eau pénètre dans le réservoir à air R où l'air est comprimé.

Troisième phase. — L'air comprimé du tube D se détend, il se produit une diminution de pression dans le tuyau A, la soupape B retombe et la première phase recommence.

L'air comprimé du réservoir R se détend et rend à l'eau le travail qu'il en a reçu, l'eau est refoulée dans le tuyau d'ascension T.

Il y a eu également aspiration de l'air extérieur par le reniflard *a*.

L'avantage du bélier est son fonctionnement automatique qui persiste indéfiniment et sans frais. Lorsqu'on dispose d'une chute d'un grand débit et de faible

hauteur, il permet d'élever une partie de ce débit à une hauteur très considérable.

$$\text{Rendement : } R = \frac{q.h}{Q.H}$$

q = volume de l'eau élevée en 1 seconde.
h = hauteur d'ascension verticale.
Q = volume dépensé par le canal d'amenée.
H = hauteur de la chute.
On trouve :

$$R = 0{,}60 \text{ à } 0{,}65$$

Ce rendement est celui que donneraient une roue et une pompe combinées ayant chacune 0,80 d'effet utile.

Pour de fortes hauteurs d'élévation, on emploiera deux béliers superposés, l'eau élevée par le premier servant d'eau motrice pour le deuxième.

Dans ce cas :

$$R = 0{,}60 \times 0{,}60 = 0{,}36.$$

Béliers hydrauliques divers :

Bélier d'épuisement Leblanc. — Bélier à comprimer l'air, employé au mont Cenis.

Chapelets.

Chapelet incliné. — Se compose d'une série de palettes rectangulaires fixées à une chaîne sans fin qui s'enroule sur deux tambours, et se meut dans une auge en bois inclinée à 35°. Cette auge plonge dans le puisard et s'élève jusqu'à la hauteur à laquelle on veut monter l'eau.

$$\text{Rendement} = 0{,}40.$$

Un homme qui exerce sur une manivelle un effort de 8 kilogrammes avec une vitesse de $0^m{,}75$ par seconde

peut produire un effet utile correspondant à 10 mètres cubes à l'heure élevés à 1 mètre de hauteur.

Chapelet vertical. — Les palettes se meuvent dans un tuyau vertical; elles sont formées d'une rondelle en cuir serrée entre deux plaques de tôle.

Elève l'eau à 5 mètres en moyenne.

Rendement = 0,65.

Noria.

C'est un chapelet vertical où les palettes sont remplacées par des seaux.

$$\text{Rendement} = 0{,}80 \times \frac{h}{h + 0{,}75} \text{ (formule empirique).}$$

h = hauteur à laquelle on veut élever l'eau.

0,75 = excès de hauteur auquel on est obligé d'élever l'eau pour que les seaux versent à un niveau convenable.

Vis d'Archimède.

Se compose d'un cylindre incliné renfermant généralement trois vis héliçoïdales. Pour que le liquide s'élève, il est nécessaire que l'inclinaison de l'axe sur l'horizon soit inférieure à l'angle de la tangente à l'hélice avec l'axe du cylindre.

La vis hollandaise n'est qu'une vis d'Archimède où l'enveloppe extérieure est remplacée par un coursier demi-circulaire en maçonnerie.

Dans la vis d'Archimède l'eau joue le rôle d'un écrou qui s'élève, la vis restant fixe.

La vis est inclinée de 40° environ sur l'horizon et les hélices font un angle de 60°, en général, avec l'axe du cylindre.

Rendement = 0,60 environ. Vitesse = 40 tours par minute.

Equation d'équilibre :

$$n\mathrm{P}h \sin.\alpha = 2\pi\mathrm{RF}$$

n = nombre de spires.
P = volume d'eau dans chaque spire
h = pas de la vis.
α = inclinaison de la vis.
R = rayon de la manivelle.
F = effort moteur appliqué à la manivelle.

Un homme peut produire un effet utile correspondant à 15 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur en 1 heure.

Roue à tympan.

Entre deux larges disques montés sur un arbre horizontal sont disposées des cloisons en spirales dont les extrémités viennent successivement plonger dans l'eau. L'eau arrive à l'orifice central par la rotation de l'appareil où elle trouve une issue pour s'échapper.

Les cloisons intérieures ont été courbées suivant des développantes d'un cercle concentrique à l'axe de rotation, de sorte que la verticale du centre de gravité de la masse d'eau contenue dans chaque canal courbe est tangente à ce cercle. Le bras de levier de la résistance se trouve être constant.

Rendement = 0,75

La hauteur d'élévation est limitée puisqu'elle est inférieure au rayon de l'appareil.

Eléments d'un tympan :
Diamètre = $8^{m},40$.
Largeur = $2^{m},80$.
Nombre de spires = 6.
Vitesse à la minute = 3 t. 08.
Cube de l'eau pris par chaque spire = $1^{m3},677$.

Cube de l'eau élevé par minute $= 3^{T},08 \times 6 \times 1,677$ $= 30.000 = 500$ litres par seconde.

Hauteur d'élévation = 3 mètres.

Effet utile = 20 chevaux.

Pulsomètre de Hall.

Principe. — Un cylindre sans piston plonge dans l'eau et est muni d'un clapet d'aspiration un peu au-dessus de l'eau ; sur le côté un tuyau de refoulement et par le haut un tuyau à robinet R pouvant amener de la vapeur. R ouvert, la vapeur se répand dans le cylindre, s'y condense, le vide se forme et l'eau est aspirée. Puis, si l'on fait arriver de nouveau la vapeur, cette eau est refoulée par le tuyau latéral.

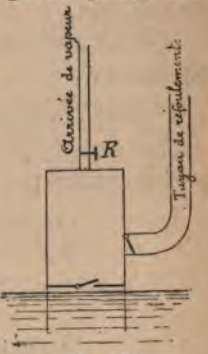


Fig. 176

Au bout d'un certain nombre de pulsations, l'eau parviendra à monter à une certaine hauteur.

L'appareil employé consiste en une espèce de poire à deux chambres ou ventricules à aspiration et refoulement réunis. Rend des services pour assécher une mine, un puits, et enfin pour produire un travail momentané pour lequel on recherche une installation simple.

Pourrait servir à l'alimentation d'une locomotive par un puits.

La vapeur se condensant au contact de l'eau et travaillant sans détente, l'effet utile est de 2 à 5 fois inférieur à celui d'une pompe à vapeur.

Ne pas dépasser 4 mètres pour l'aspiration.

Pulsateur. — Repose sur le même principe, avec cette différence que la vapeur agit sur l'eau avec l'interposition d'un diaphragme en caoutchouc.

Rendement supérieur au pulsomètre.

Roues élévatoires.

1° *Roue à palettes et à coursier cylindrique de Saint-Ouen.*

Mise en mouvement par une machine à vapeur de 50 chevaux.

2° *Roue Thomas et Laurens pour irrigation.*

Une roue hydraulique donne le mouvement à la roue élévatoire par l'intermédiaire d'engrenages.

Eau élevée = 460 litres à la seconde.
Rendement = 0,60.

PRESSE HYDRAULIQUE

Une pompe d'injection de petit diamètre d refoule l'eau sous le piston D.

q = effort nécessaire appliqué directement sur le piston de la pompe pour soulever le poids Q.

$$\frac{Q}{q} = \frac{D^2}{d^2}$$

F = effort à appliquer à l'extrémité du levier L pour soulever la charge qui est en moyenne pour un homme seul de 25 kilogrammes.

$$F \times L = q \times l$$

d'où : $F = Q \times \frac{d^2}{D^2} \times \frac{l}{L}$.

Application :

$Q = 200.000^k$; $D = 0{,}30$; $d = 0{,}02$; $l = 0{,}03$; $L = 1^m{,}00$

Rendement $R = 0{,}80$; $F = 33^k$

Pression dans le cylindre $D = \dfrac{200.000^k}{\frac{\pi}{4} \times 30^2} = 283^k$ p. c².

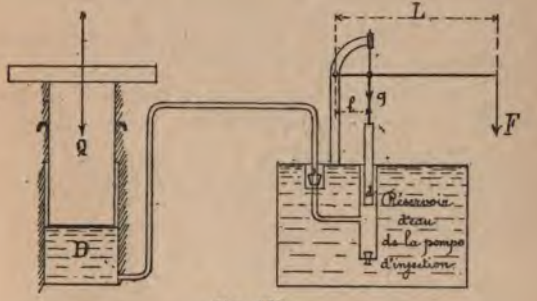


Fig. 177

La pompe d'injection doit donc être suffisante pour produire 283 atmosphères de pression, ce qui revient à élever l'eau à 2.830 mètres de hauteur environ. Aussi les construit-on soigneusement et en bronze.

Presses hydrauliques diverses. — Presse à plateaux superposés pour huilerie. — Presse à foin. — Presse pour apprêts d'étoffes. — Presse pour la fabrication des tuyaux de plomb. — Presse pour sucrerie. — Pressoirs. — Crics et verrins hydrauliques. — Presse horizontale chauffée à la vapeur (Cockerill). — Presse horizontale chauffée à la vapeur pour huilerie. — Machine d'épreuve à la flexion (Ollivier et Desgoff).

Calcul des cylindres et des tuyaux des presses hydrauliques

Quand la pression dépasse 150 atmosphères, il vaut mieux employer l'acier ou le bronze, car la fonte peut

présenter des soufflures sous de grandes épaisseurs. Quand on emploie la fonte, on la soumet à plusieurs fusions. Pour la fonte, il est prudent de prendre $R = 3 \times \overline{10^6}$ (le plus grand effort d'extension auquel on peut la soumettre).

Pour les presses d'une grande puissance, on remplace le fond venu de fonte, pour éviter la rupture, par une plaque fortement réunie au cylindre.

Il y a intérêt à augmenter le diamètre du piston plutôt que de donner à l'eau une pression exagérée, car la quantité de matière à employer pour produire une pression donnée est sensiblement indépendante du diamètre.

$$e = \left(\sqrt{\frac{R + p_o}{R - p_o}} - 1\right)\frac{D}{2}$$

e = épaisseur à donner au corps de pompe ou au tuyau.

R = le plus grand effort d'extension auquel les fibres sont soumises.

D = diamètre intérieur du corps de pompe ou du tuyau.

p_o = pression intérieure en atmosphères.

Si l'on écrit : $\sqrt{\frac{R + p_o}{R - p_o}} - 1 = K.$

$R = 3 \times 10^8$ par centimètre carré.

VALEURS de la pression intérieure en atmosphères (p_o)	VALEURS correspondantes de K pour la fonte	VALEURS de la pression intérieure en atmosphères (p_o)	VALEURS correspondantes de K pour la fonte
50 atmosph.	0,19	110 atmosph.	0,49
60 »	0,23	120 »	0,55
70 »	0,28	130 »	0,62
80 »	0,33	140 »	0,69
90 »	0,38	150 »	0,77
100 »	0,43		

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES
DES
GAZ ET DES VAPEURS

1° Gaz.

Baromètre

Deux sortes : à mercure, métalliques. Ces derniers appelés anéroïdes sont gradués par comparaison.

Les tables de Laplace permettent de déterminer la hauteur à laquelle on s'élève.

L'air pèse 1 k. 293 le mètre cube à 0° et sous la pression de 760 millimètres de mercure.

Cette pression de 760 millimètres correspond à $10^m,33$ d'eau, en effet :

$$\frac{0,760}{10,330} = \frac{1}{13,6} \left\{ \begin{array}{l} 1 = \text{densité de l'eau} \\ 13,6 = \text{densité du mercure.} \end{array} \right.$$

Le poids d'une colonne d'eau de $10^m,33$ et de 1 centimètre carré de section = 1 k. 033. Aussi dit-on couramment que l'atmosphère exerce une pression de 1 kilogramme par centimètre carré.

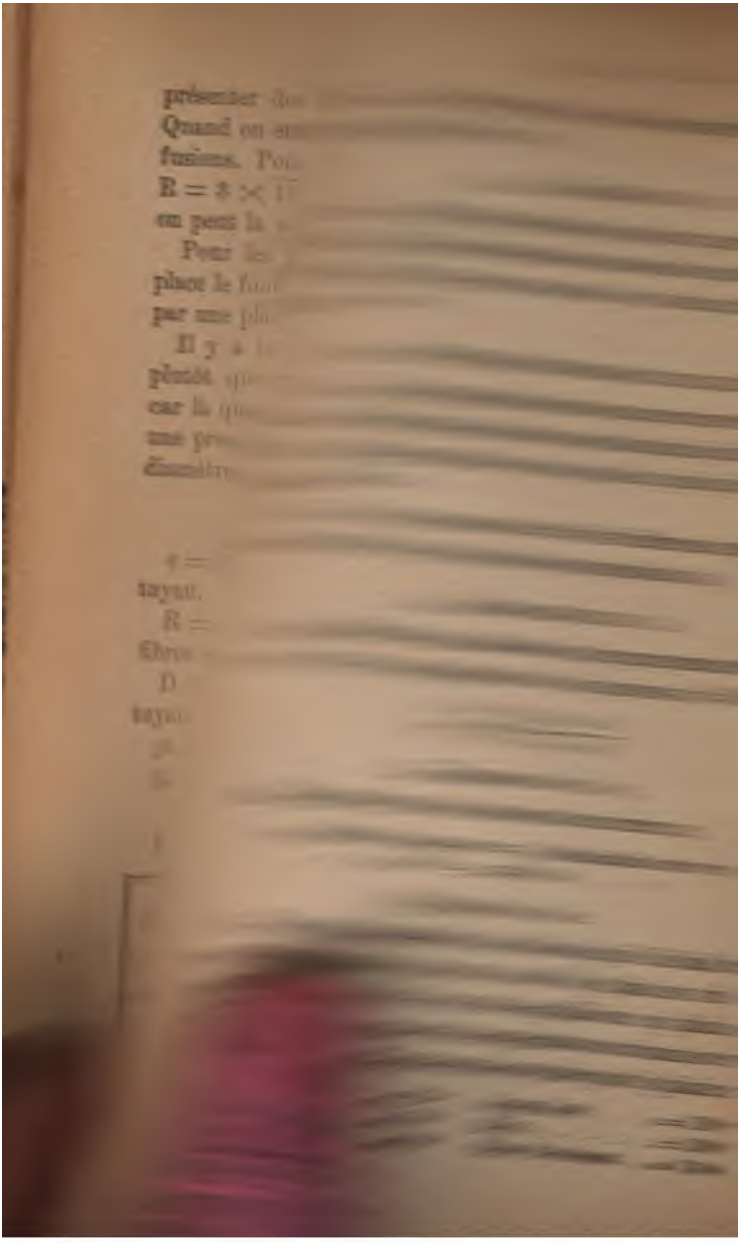
Loi de Mariotte

Les volumes occupés par un gaz sont en raison inverse des pressions qu'il supporte.

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P} \quad \text{ou} \quad VP = V'P'.$$

Manomètres

Instruments qui donnent la pression des gaz ou des vapeurs.



Densité des gaz

Rapport entre les poids de volumes égaux de gaz et d'air à 0° et 760 millimètres de pression.

$$\frac{D}{D'} = \frac{H}{H'} \times \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}.$$

Par rapport à l'eau. — Rapport entre le poids d'un volume de gaz à 0° et 760 millimètres et celui d'un volume d'eau à son maximum de densité (4° au-dessus de 0°).

(Voir le tableau à la fin de l'ouvrage).

Chaleur spécifique ou capacité calorifique des gaz

Calories nécessaires pour élever de 1° 1 kilogramme de ce gaz. (La calorie est la chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kilogramme d'eau de 1°).

Air	= 0,237	Oxygène . . .	= 0,22
Azote . . .	= 0,244	Vapeur d'eau . .	= 0,48
Hydrogène . .	= 0,410	Acide carbonique.	= 0,202

2° Vapeurs.

Mélange des gaz et des vapeurs

Quand un liquide est introduit dans un espace rempli d'un gaz, il se vaporise autant de liquide que si l'espace était vide, mais la vaporisation est plus lente; la force élastique de la vapeur formée est la même que si le gaz n'existait pas.

La force élastique d'un mélange d'un gaz et d'une vapeur est égale à la somme des forces élastiques qu'auraient séparément le gaz et la vapeur si chacun d'eux occupait seul le volume du mélange.

Densité des vapeurs

Rapport entre le poids de deux volumes égaux de

vapeur et d'air pris dans les mêmes conditions de température et de pression.

Air. . . .	= 1	Phosphore .	= 4,420
Eau . . .	= 0,622	Soufre. . .	= 2,206
Alcool. . .	= 1,613	Mercure . .	= 6,976
Ether . . .	= 2.586		

TABLE DES PRESSIONS DE LA VAPEUR D'EAU SATURÉE, DE 10 EN 10 DEGRÉS ET DE 0 A 230 DEGRÉS

TEMPÉRATURE en degrés centigrades	PRESSIONS en atmosphères	TEMPÉRATURE en degrés centigrades	PRESSIONS en atmosphères
5	0,006	120	1,962
10	0,012	130	2,671
20	0,023	140	3,576
30	0,041	150	4,712
40	0,072	160	6,121
50	0,121	170	7,844
60	0,196	180	9,929
70	0,306	190	12,425
80	0,466	200	15,380
90	0,691	210	18,848
100	1,000	220	22,892
110	1,415	230	27,534

TABLEAU DE LA FORCE ÉLASTIQUE, DU VOLUME ET DU POIDS DU MÈTRE CUBE DE LA VAPEUR D'EAU

PRESSIONS en atmosphères	TEMPÉRATURE en degrés centigrades	VOLUME occupé par 1^{k} de vapeur	POIDS du mètre cube de vapeur
0,10	46°25	14^{m3}516	0^{k}069
1,00	100,00	1, 696	0,591
2,00	120,64	0, 895	1,117
3,00	133,91	0, 617	1,620
4,00	144,00	0, 474	2,108
5,00	152,26	0, 386	2,584
6,00	159,26	0, 328	3,051
7,00	165,40	0, 285	3,509
8,00	170,84	0, 252	3,971
9,00	175,77	0, 227	4,408
10,00	180,30	0, 206	4,848
11,00	184,60	0, 189	5,283
12,00	188,54	0, 175	5,714
13,00	192,08	0, 164	6,107
14,00	195,53	0, 153	6,527

Calories nécessaires pour porter 1 kilogr. d'eau à 0, à l'état de vapeur saturée à t°.

$$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305 \times t.$$

Chaleur latente de vaporisation d'un liquide à la température t = Calories absorbées par ce liquide pour se transformer en vapeur saturante à la température *t*.

	TEMPÉRATURE d'ébullition	CHALEUR latente de vaporisation à la température d'ébullition
Eau	100°	537 calories
Alcool	78	208 »
Essence de térébenthine . .	156	69 »

État hygrométrique de l'air

Rapport entre la tension réelle de la vapeur et la tension maximum à la même température ; *ou bien* : rapport entre le poids de la vapeur contenue dans un volume d'air et le poids maximum de vapeur que ce volume contiendrait s'il était saturé.

Hygromètres divers. — Hygromètre à cheveu ou de Saussure (tables de Gay-Lussac). — Hygromètre à condensation de Daniel. — Hygromètre de Régnault. — Psychromètre.

Problème. — On a 1 mètre cube d'air humide à la pression totale de 756 millimètres et à la température de 20°. On demande : 1° le poids de la vapeur d'eau qui s'y trouve contenue sachant que l'état hygrométrique est de 0,3 ; 2° le poids de l'air humide, c'est-à-dire de l'air et de la vapeur.

1° Poids de la vapeur d'eau :

$$p = V \times 1^{gr},293 \times 0,622 \times \frac{f}{760} \times \frac{1}{1+\alpha t}$$

V = 1000 litres.

f = tension de la vapeur = tension maxima à $20° \times 0,3 = 17^{mm},39 \times 0,3 = 5,22$.

$\alpha = 0,00367$.

$p = 5^{gr},14$.

2° Poids de l'air humide :

$$P = V \times 1^{gr},293 \times \frac{H-f}{760} \times \frac{1}{1+\alpha t} + p$$

$$= V \times 1^{gr},293 \times \frac{H - 0,378 \times f}{760} \times \frac{1}{1+\alpha t}$$

H = 756 millimètres.

$f = 5^{mm},22$.

$P = 1159^{gr},12$.

MOUVEMENT ET ÉCOULEMENT DES GAZ

Écoulement par un orifice en mince paroi

$$V = \sqrt{2gh}$$

V = vitesse par seconde.

h = hauteur de la colonne de gaz prise à la pression et à la température du gaz du récipient, faisant équilibre à l'excès de pression de l'intérieur sur la pression atmosphérique.

Ou encore :

$$V = 123 \sqrt{e \times \frac{1+\alpha t}{\delta}}.$$

e = excès de pression du gaz sur la pression atmosphérique exprimé en colonne d'eau.

α = coefficient de dilatation du gaz qui est, pour l'air, de 0,00367.

δ = densité du gaz par rapport à l'air.

Dans le cas de compression d'air, $\delta = 1$.

Si de plus $t = o$.

$$V = 123\sqrt{e} \qquad Q = KSV$$

Q = dépense d'air comprimé en volume à la pression e + pression atmosphérique.

S = section de l'orifice d'écoulement.

V = vitesse calculée.

K = coefficient de dépense. $\begin{cases} = 0{,}65 \text{ pour un orifice en mince paroi.} \\ = 0{,}83 \text{ pour un ajutage cylindrique.} \\ = 0{,}91 \text{ pour les buses ou ajutages convergents.} \end{cases}$

On a encore :

$$V = \sqrt{2g \times \frac{P - p}{d}}$$

P = pression intérieure en kilogrammes sur 1 mètre carré.

p = pression extérieure en kilogrammes sur 1 mètre carré.

d = poids de 1 mètre cube du gaz considéré.

Dans cette formule $\frac{P - p}{d} = h$ de la première formule.

Conduites de gaz.

Formule de Péclet :

$$E - e = \frac{4KL}{D} \times e$$

E = excès de pression du gazomètre sur la pression atmosphérique observé au manomètre à eau, placé à l'origine de la conduite.

e = excès de pression observé au manomètre à eau, placé à l'extrémité de la conduite.

L = longueur de la conduite.

D = diamètre de la conduite.

K = 0,006 en moyenne. — Pour des surfaces ru-

gueuses K = 0,015. Pour un tuyau en fer blanc K est le $\frac{1}{3}$ de ce qu'il est pour un tuyau en fonte.

Vitesse à l'origine de la conduite :

$$V = \sqrt{2g\frac{E}{d}}$$

d = densité du gaz par rapport à l'eau.

Vitesse à l'extrémité de la conduite ;

$$v = \sqrt{2g\frac{e}{d}}$$

$$\frac{v}{V} = \sqrt{\frac{e}{E}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4KL}{D}}}$$

e est employé à donner la vitesse à l'extrémité de la conduite, $\frac{4KL}{D} \times e$ sert à vaincre les frottements.

FORMULE DE M. ARSON :

$$E - e = \frac{4Ld}{D}(aV + bV^2)$$

Applicable dans la distribution du gaz d'éclairage.

Des tables permettent de trouver D, connaissant les autres éléments. Les valeurs de D sont un peu fortes.

V = volume de gaz à donner par seconde.

a et b = coefficients variables suivant le diamètre D.

FORMULE DE D'AUBUISSON :

$$D^5 = 0{,}0825 \times \frac{d \times Q^2}{E}(D + 4KL)$$

D = diamètre de la conduite. Il se calculera par approximations successives, en faisant d'abord D = o, dans le second membre.

E = charge à l'origine ou hauteur d'eau lue au *manomètre*.

d = densité du gaz par rapport à l'eau.
Q = débit à la seconde.
K = 0,006 en moyenne.

Application. — On a à fournir 100 litres d'air par seconde à 100 mètres de distance pris à la pression $E = 0^m,02$ d'eau. Quel sera le diamètre de la conduite ?

$Q = 0^{m3},100.$
$E = 0,02.$
L = 100 mètres.
$d = 0,00129$ dans le cas où il s'agit d'air.
$D^5 = 0,0000532\ (D + 2,40).$

Première approximation :

$$D^5 = 0,0000532 \times 2,40 = 0,0001277$$
$$D = 0,166.$$

Deuxième approximation :

$$D^5 = 0,0000532\ (0,166 + 2,400) = 0,0001365$$
$$D = 0,169$$

Donc le diamètre :

$$D = 0^m,17.$$

On a supposé que la température était constante ; sinon, on décomposera la canalisation en sections à température constante.

EFFET D'UN REGISTRE SUR UNE CONDUITE DE GAZ.

En réduisant la section au $\frac{1}{10}$, le volume du gaz n'est pas réduit dans la même proportion ; il peut n'être réduit que de moitié. Cela tient à ce que le registre a pour effet de diminuer la vitesse dans tout le conduit à l'amont, et, par suite, de diminuer les résistances qui sont proportionnelles au carré de la vitesse ; il en résulte une augmentation de vitesse dans la section du registre.

Place que doit occuper le gazomètre par rapport a la distribution.

L'usine à gaz doit s'établir au point bas de la distribution, afin de diminuer la pression et les fuites. Pour chaque mètre en contre-bas du gazomètre, la pression dans le gazomètre devra être celle qui est nécessaire à l'écoulement augmentée de :

$0^m,0013 - 0.000715 = 0^m,000585$ en hauteur d'eau.

L'inverse existera si la conduite est ascendante.

0,0013 = hauteur d'eau correspondant à 1 mètre de hauteur d'air.

0,000715 = 0,0013 × 0,55 densité du gaz d'éclairage = hauteur d'eau correspondant à 1 mètre de hauteur de ce gaz.

La plus petite pression à l'intérieur des tuyaux est de $0^m,02$ d'eau.

La plus grande pression au gazomètre = $0^m,150$ d'eau.

Un bec consomme de 100 à 180 litres à l'heure.

On a trouvé expérimentalement que pour alimenter 2.600 becs consommant 103 litres à l'heure sous pression d'eau de 44 millimètres, le tuyau devait avoir un diamètre de 162 millimètres et que, par suite, la vitesse était de $3^m,60$ par seconde.

De même un tuyau de 108 millimètres de diamètre suffit pour l'écoulement de 288 mètres cubes à l'heure sous pression d'eau de 27 millimètres.

Mesure des pressions d'un gaz.

Pour avoir e pression en eau du manomètre correspondant à la vitesse, de telle sorte que :

$$e = d \times \frac{v^2}{2g}$$

le tube doit être disposé au centre de la section de

sortie et de façon que son orifice soit dirigé contre le courant.

On emploie :

Manomètre de Péclet. — Se composant d'un tube

Fig. 178

très incliné gradué afin de faciliter la lecture des faibles pressions.

Manomètre de M. Arson. — Formé d'une cloche plongeant dans l'eau à la partie supérieure de laquelle le gaz arrive. La cloche se soulève et agit par une crémaillère sur des engrenages qui multiplient le mouvement de la cloche.

Anémomètres. — Donnent la vitesse du gaz. Les plus connus sont ceux de M. Combes, de M. Neumann et les anémomètres totalisateurs.

VITESSES ET PRESSIONS DU VENT

	VITESSE par seconde	PRESSIONS par m² sur une surface normale plane	OBSERVATIONS
Vent fort convenable pour moulins à vent . . .	7m	6k	Les pressions sur une surface cylindrique sont égales à la moitié des pressions ci-contre multipliées par la projection de la surface cylindrique sur un plan normal à la direction du vent.
Vent violent . .	15	30	
Tempête . . .	25	80	
Ouragan . . .	45	275	

MOULINS A VENT

Le bon fonctionnement exige que la vitesse du vent soit comprise entre 4 et 8 mètres par seconde.

Pour des vitesses inférieures à 10 mètres à la seconde, on a la formule :

$$P = 2d \times s \times h$$

P = pression en kilogrammes du vent sur une surface plane s normale au vent.

d = poids de 1 mètre cube de l'air en mouvement.

s = surface frappée par le vent en mètres carrés.

$h = \frac{v^2}{2g}$ = hauteur génératrice de la vitesse de l'air v en mètres par seconde.

v sera la vitesse relative de l'air si la surface est en mouvement.

Les ailes d'un moulin marchant à vide doivent avoir à leur extrémité une vitesse quatre fois plus grande que celle du vent. Cette vitesse doit être de 2,5 celle du vent sous charge pour obtenir le rendement maximum.

$T_m = KSV^3$ = Travail transmis aux ailes

K = 0,03.

S = surface des quatre ailes en mètres carrés.

V = vitesse du vent par seconde.

On rencontre des moulins à vent actionnant quatre paires de meules pour moudre le blé avec tous les appareils de nettoyage et de blutage.

On emploie également les moulins à vent à faire fonctionner des pompes, tel est le cas des éoliennes.

MACHINES SOUFFLANTES.

Ventilateurs à force centrifuge.

Présentent grande analogie avec les pompes centrifuges.

1° *Aspirants.* — Puisent l'air et le rejettent directement dans l'atmosphère par tous les points de la circonférence extérieure sans adaptation de buse.

Ventilation des Ateliers (Décret du 10 mars 1894).

2° *Soufflants.* — L'air y entre par des œils de section déterminée, et en sort par une buse de section également déterminée circulaire ou rectangulaire.

Ils ont une vitesse de 25 à 50 mètres à la circonférence par seconde en général.

$$V = V_o \times \sqrt{2}$$

V = vitesse de l'air à la sortie du ventilateur.

V_o = vitesse de rotation à l'extrémité des aubes.

On peut obtenir un rendement de 0,60.

Expériences faites sur un ventilateur soufflant à aubes planes à caisse concentrique, avec jeu de 0m,04 recevant l'air par deux œils, dont un de chaque côté et refoulant l'air par un conduit D *de 0m,20 de diamètre, de longueur* L = 28m, *terminé par une ouverture d de 0m,20 dans la première expérience et de 0m,14 dans la deuxième.*

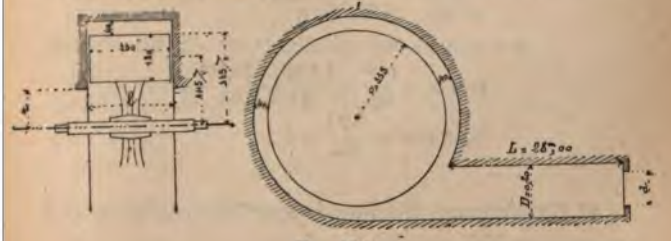


Fig. 179

1re Expérience. — Nombre de tours du ventilateur par minute = 840.

Vitesse à la circonférence par seconde :

$$\frac{2\pi \times 0{,}335}{60} \times 840 = 29^{m},47$$

Volume de l'air sortant à l'extrémité du conduit par l'ouverture $d = 0{,}20$, trouvé expérimentalement au moyen de l'anémomètre :

$$Q = 0^{m3},903 \text{ par seconde.}$$

Volume engendré par le ventilateur en une seconde :

$$Q' = \frac{2\pi \times 0{,}245 \times 840}{60} \times 0{,}330 \times 0{,}180 = 1^{m3},279.$$

Rapport des volumes :

$$\frac{Q}{Q'} = 0{,}706.$$

Travail moteur mesuré sur l'arbre du ventilateur au moyen du frein :

$$T_m = 144^{km} \text{ à la seconde.}$$

Travail de l'air à la sortie de la conduite :

Le coefficient du débit étant de 0,95, la vitesse à la sortie :

$$V = \frac{Q}{m\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0{,}903}{0{,}95\,\frac{\pi \times 0{,}20^2}{4}} = 30^{m},10$$

$$P = \text{poids de l'air injecté} = 0^{m},903 \times 1^{k},293 = 1^{k},168.$$

$$\text{Travail} = \frac{PV^2}{2g} = \frac{1{,}168 \times 30{,}10^2}{2 \times 9{,}8088} = 54^{km}.$$

$$\text{Rendement} = \frac{54^{km}}{144} = 0{,}38.$$

2e *Expérience.* Nombre de tours du ventilateur par minute = 508.

Vitesse à la circonférence par seconde :

$$\frac{2\pi \times 0{,}335}{60} \times 508 = 17^{m},82.$$

Volume de l'air sortant à l'extrémité du conduit par l'ouverture $d = 0{,}14$ trouvé expérimentalement avec l'anénomètre :

$$Q = 0^{m3},279 \text{ par seconde.}$$

Volume engendré par le ventilateur en une seconde:

$$Q' = \frac{2\pi \times 0{,}245 \times 508}{60} \times 0{,}330 \times 0{,}180 = 0^{m3},773.$$

Rapport des volumes :

$$\frac{Q}{Q'} = 0{,}361.$$

Travail moteur mesuré sur l'arbre du ventilateur au moyen du frein :

$$T_m = 49 \text{ kilogrammètres à la seconde.}$$

Travail de l'air à la sortie de la conduite :

Le coefficient du débit étant 0,85, la vitesse à la sortie :

$$V = \frac{Q}{m\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0{,}279}{0{,}85\frac{\pi . 0{,}14^2}{4}} = 21^{m},15$$

$$P = \text{poids de l'air injecté} = 0^{m3},279 \times 1^{k},293 = 0^{k},361$$

$$\text{Travail} = \frac{PV^2}{2g} = \frac{0{,}361 \times 21{,}15^2}{2 \times 9{,}8088} = 8^{km},2$$

$$\text{Rendement} = \frac{8^{km},2}{49} = 0{,}16.$$

Remarque. — Pour que la vitesse de l'air à l'entrée des palettes soit la même que celle au passage des œils, il faut que :

$$2\pi rl = 2\pi r^2 \quad \text{ou} \quad l = r$$

l = largeur du ventilateur.

r = rayon des œils d'entrée de l'air.

DIFFÉRENTS GENRES DE VENTILATEURS.

Ventilateur Sudds pour cubilot. — Caisse sans jeu :

Diamètre du ventilateur. . . .	= 1^{m}000
Largeur.	= 0,200
Rayon des œils	= 0,250
Nombre de tours en une minute .	= 1000
Travail recueilli sur l'arbre (pour 2 cubilots)	= 4 chevaux.

Ventilateur siphoïde Bourdon. — Ventilateur Mazeline à aubes courbes. — Ventilateur Guibal pour les mines. — Ventilateurs à piston de Nixon, Lemiel. — Ventilateurs à axe vertical.

Machines à cylindre et à action directe.

$$S_a = \frac{1}{8} \text{ à } \frac{1}{4} A$$

$$S_r = \frac{1}{10} \text{ à } \frac{1}{6} A$$

S_a = Section totale d'aspiration.

S_r = Section totale de refoulement.

A = Section du cylindre.

Vitesse du piston soufflant = 0^{m},50 à 1 mètre par seconde.

La vitesse de l'air dans les conduites atteint 20 mètres par seconde.

Un réservoir à vent de grande capacité régularise le mouvement.

Diamètre du cylindre soufflant :

$$Q(1 + 0{,}004 \times t) = 0{,}75 \times \frac{1}{4} \pi D^2 l \times n$$

Q = volume effectif de l'air ramené à 0° et 760 millimètres en mètres cubes, qui doit être fourni par minute.

t = température dans le réservoir à vent.

0,75 = coefficient indiquant que le cube d'air fourni à chaque coup au réservoir est les $\frac{3}{4}$ du volume engendré par le piston. Il tient compte des espaces nuisibles et des pertes.

D = diamètre du cylindre.

l = course du piston.

n = nombre de coups par minute.

En supposant :

$$Q = 150^{m3},\quad t = 20^{\circ},\quad l = D,\quad n = 20$$

On trouve :

$$D = 2^{m},40.$$

Travail moteur :

$$T_m = \frac{T_u}{m \times n}$$

T_m = travail moteur total produit par minute par la machine à vapeur ou la machine motrice.

T_u = travail absorbé par minute pour comprimer l'air dans le cylindre et le faire sortir du cylindre.

m = rendement de la machine motrice = 0,90 environ.

n = rendement en travail de la machine soufflante = 0,80 environ.

$$T_m = \frac{1}{0,90} \times \frac{1}{0,80} \times \frac{Q}{0,75}(1 + 0,004 \times t)\,13590 \times \frac{1,52 \times h}{1,52 + h}$$

h = pression en centimètres de mercure dans le réservoir à vent ou régulateur.

Si h = 25 centimètres.

$$T_m = \frac{1}{0,72} \times 629300 \text{ par minute} = \frac{874030}{60 \times 75} = 195 \text{ chevaux.}$$

Les coefficients m et n varieront suivant la disposition et la perfection des machines employées.

Machines soufflantes diverses. — Trompe. — Cagniardelle. — Tympan. — Soufflets Rabiet, Enfer, Roots. — Tonneau soufflant. — Machine à cloche de Baader. — Chapelet. — Machine à colonne d'eau. — Machine soufflante Cockerill de 150 chevaux : diamètre = $2^m,60$, course = 2,44. — Machine verticale Borsig, système Woolf : diamètre = 2,615, course = 2,825. — Machine verticale du Creusot : diamètre, 3 mètres, course = $2^m,50$, pression du vent = 20 centimètres de mercure. — Machine horizontale de l'usine de Ilsen (Hanovre) : diamètre du cylindre soufflant = $2^m,09$, course = $1^m,73$.

Vitesse du piston	= $1^m,57$ par seconde
Section de l'aspiration . . .	= $0^{m2},65$
» de refoulement . . .	= $0^{m2},40$
» du tuyau de refoulement	= $0^{m2},35$
Diamètre du cylindre à vapeur	= $1^m,10$
Course.	= $1^m,73$
Pression de la vapeur . . .	= 2 atm. $^1/_2$
Détente	= $^1/_2$
Nombre de tours par minute .	= 27
Pression en mercure. . . .	= $0^m,22$

MACHINES A GAZ

Moteurs Otto.

CARACTÈRES PRINCIPAUX DES MOTEURS OTTO

L'admission et l'allumage du mélange d'air et de gaz se font au moyen d'un tiroir mû par un arbre de distribution tournant deux fois moins vite que celui du moteur. L'échappement des produits de l'explosion a lieu par une soupape actionnée par une came placée *sur l'arbre* de distribution.

Une autre came, montée également sur cet arbre, mais pouvant se déplacer sous l'action du régulateur, commande la soupape d'admission du gaz au tiroir de distribution.

Dans sa première course avant, le piston aspire le mélange dans la chambre de compression et dans le cylindre.

La période d'admission correspond presque entièrement à la rotation de 90° de la manivelle du tiroir.

A son retour, le piston comprime le mélange.

L'allumage a lieu par deux brûleurs dont l'un brûle à l'air libre sans s'éteindre, et l'autre amène au tiroir du gaz qui s'enflamme d'abord, puis est conduit au contact du mélange du cylindre après avoir été porté à la même pression que ce mélange.

Le régulateur agit en déplaçant la came sur l'arbre de façon qu'elle échappe quand le moteur s'emporte. Le levier par lequel elle commande la soupape d'admission reste fermé tant que la machine va trop vite.

Des graisseurs alimentent mécaniquement le tiroir et le cylindre, et seulement quand le moteur tourne. Des poches élastiques sont interposées entre le compteur à gaz et le moteur pour amortir l'effet des admissions.

Des pots d'aspiration et d'échappement sont destinés à diminuer le bruit des aspirations et des échappements.

Les cylindres sont revêtus d'une double enveloppe où circule un courant d'eau froide pour obvier à l'échauffement qui carboniserait les matières lubrifiantes.

La pression dans le cylindre peut atteindre au moment de l'explosion, 12 atmosphères.

1° *Machine de 4 chevaux*

Un seul cylindre horizontal de 170 millimètres de diamètre et 340 millimètres de course.

L'inflammation n'a lieu qu'au second coup de piston, le coup précédent étant exclusivement employé à assurer l'alimentation.

Expérience : 1 compteur à gaz indiquait la consommation.

1 compteur de tours indiquait le nombre de révolutions de l'arbre moteur.

1 jaugeur indiquait le volume d'eau dépensé pour le refroidissement.

1 indicateur de Watt marquait le travail indiqué.

1 frein donnait le travail effectif.

La température de l'eau de refroidissement était aussi observée à l'entrée et à la sortie.

La consommation du gaz à la pression de 40 millimètres d'eau s'est élevée à 3.540 litres en une heure, la machine faisant 155 tours à la minute. Le frein de 1 mètre de longueur était chargé de 18 k, 200, ce qui correspond à un travail effectif de 3 chevaux 946. La consommation ressort donc à 897 litres par cheval-heure.

L'indicateur de Watt a relevé un travail de 5 chevaux, 265.

Donc, rendement au frein $= \frac{3,946}{5,265} = 0.74$.

C'est le rendement des machines à vapeur de puissance équivalente.

2° *Machine de 8 chevaux*

2 cylindres horizontaux avec manivelles dans le prolongement l'une de l'autre : l'un des pistons pro-

duit l'alimentation pendant que l'autre recueille le travail dû à l'inflammation.

Consommation de gaz en une heure = 7.637 litres, la machine faisant 161 tours en une minute (allure un peu vive.)

Le travail mesuré au frein avec un bras de levier de 1^m,43 et une charge de 26 kilogrammes = 8 chev.,345.

La consommation du gaz ressort donc à 915 litres par cheval-heure.

Le jaugeage direct de l'eau d'alimentation porte la consommation par heure à 187 litres introduits à 16° et portés au moment de la sortie à 70°,5, d'où différence de 1187 calories par cheval, soit environ le $\frac{1}{4}$ de la chaleur dégagée par la combustion.

La consommation de gaz à l'heure et par cheval peut donc être estimée à 900 litres dans les machines Otto.

On en construit de $\frac{1}{8}$ de cheval (type vertical) à 150 chevaux (tvpe horizontal à quatre cylindres).

Le moteur Otto peut être approprié comme moteur à gazoline. Dans ce cas le mélange d'air et de gazoline est enflammé par une étincelle produite par une bobine d'induction.

Consommation moyenne de gazoline par cheval-heure = 400 grammes.

La gazoline se congèle à + 5°.

Nouveau moteur Otto : Le tiroir est remplacé par des soupapes. L'inflammateur par bec brûleur est remplacé par un brûleur chauffant un tube incandescent en porcelaine.

Moteur Ravel.

Sans compression préalable du mélange détonant et à une explosion par tour.

Le gaz et l'air sont comprimés séparément par des pompes spéciales.

L'allumage se fait à l'aide d'une étincelle produite par une bobine de Ruhmkorff.

Vitesse normale = 160 tours par minute.

Expérience faite sur une machine de 8 chevaux.

Pression initiale due à l'explosion = $8^{k}600$.

Pression moyenne exercée sur le piston en kilogrammes par centimètre carré = $2^{k},954$.

Travail donné par l'indicateur $T_i = \dfrac{Svh}{2 \times 75}$

S = Section du cylindre en centimètres carrés = 254,47.

v = Vitesse du piston par seconde = $2^{m},133$.

h = Pression moyenne = $2^{k},954$.

d'où :

$$T_i = 10^{chev.},70$$

Travail mesuré au moyen du frein a donné pour :

Longueur du bras de levier = $1^{m},25 = l$.

Poids à l'extrémité du levier = $28^{k},7 = P$.

Nombre de tours par minute = 160 = n.

$$T = \frac{2\pi l P n}{60 \times 75} = 8 \text{ chevaux.}$$

Rendement au frein = $\dfrac{8}{10,7} = 0,75$.

Consommation de gaz = 1000 litres par cheval-heure au plus.

Consommation d'eau = 220 litres par heure avec échauffement de 65°.

Moteur Lenoir.

L'ancien moteur était à double effet et consommait beaucoup de gaz et d'eau.

Le moteur Lenoir perfectionné est à simple effet avec compression préalable.

L'inflammation se fait par l'étincelle d'une bobine Ruhmkorff.

Consommation = 800 litres de gaz par cheval-heure en moyenne.

Moteur Bisschop.

Sans compression préalable et à explosion par tour.

Vertical. Employé pour la petite industrie.

De 6 kilogrammètres à 25 kilogrammètres.

Dépense 0 fr.,10 par heure.

Utilise l'explosion à l'ascension et la pression atmosphérique à la descente.

Le refroidissement est produit par des nervures en fonte revêtant le cylindre sans courant d'eau.

Moteur Simplex.

Construit dans des conditions spéciales qui lui permettent d'utiliser des gaz de plus en plus pauvres. La mise en route des moteurs de grande puissance constitue un perfectionnement important qui a largement contribué à leur développement industriel.

Moteurs à gaz divers.

Moteur à gaz Charon. — Moteur Simon. — Moteur à huile de pétrole Priestman. — Moteur à gaz et au pétrole Niel.

COMBUSTION

Puissance calorifique d'un combustible = Nombre de calories dégagées par 1 kilogramme en brûlant complètement.

LOI DE DULONG

La puissance calorifique d'un combustible est égale à la somme des quantités de chaleur dégagée par la combustion des éléments en ne tenant pas compte de la quantité d'hydrogène qui peut former de l'eau avec l'oxygène du combustible.

Cette loi donne une approximation suffisante dans beaucoup de cas.

Exemple : Déterminer par le calcul la puissance calorifique de l'alcool ($c^4 H^6 o^2$).

$$c^4 H^6 o^2 = c^4 H^4 + (2 Ho)$$
$$4 \times 6 \times 8080 + 4 \times 1 \times 34.462 = (28 + 18)\, x$$
d'où : $x = 7.212$

L'expérience directe donne 7.183 au moyen du calorimètre.

6 = équivalent du carbone c
8080 = puissance calorifique du carbone
1 = équivalent de l'hydrogène H
34.462 = puissance calorifique de l'hydrogène
28 + 18 = poids de l'alcool : 28 = poids du c + poids de H ; 18 = poids de 2 Ho existant dans le combustible.

Problème (1). — Déterminer le poids et le volume ramené à 0° et 760 millimètres de l'oxygène et de l'air nécessaires à la combustion de 1 kilogramme de carbone ?

$$co^2 = 6 + 2 \times 8 = 22$$
ou 1^k de $c + 2^k,667$ de $o = 3^k,667$ de co^2
100^k d'air = 23^k de $o + 77^k$ de Az.

Pour avoir $2_k,667$ de 0, il faut :

$$\frac{100^k}{23} \times 2^k,667 = 11^k,59 \text{ d'air}$$

$$\text{Volume de } o = \frac{2^k,667}{1,293 \times 1,11} = 1^{m3},865$$

$$\text{Volume de l'air} = \frac{11^k,59}{1,293} = 8^{m3},967.$$

Problème (2).—Déterminer le poids et le volume ramené à 0° et 760 millimètres de l'oxygène et de l'air nécessaires à la combustion de 1 kilogramme de houille dont la composition est la suivante :

$$\text{Composition.} \quad \left\{ \begin{array}{l} C = 0,83 \\ H = 0,04 \\ Ho = 0,09 \\ Az = 0,01 \\ \text{Cendres} = 0,03 \end{array} \right.$$

Oxygène : $0,83 \times 2^k,667 + 0,04 \times 8 = 2^k,52$

$$\text{Volume} = \frac{2^k,52}{1,293 \times 1,11} = 1^{m3},76$$

Air : $2^k,52 \times \frac{100}{23} = 10^k,95 = \left\{ \begin{array}{l} 2^k,52 \text{ de } o \\ 8^k,43 \text{ de Az.} \end{array} \right.$

Dans la pratique on prend 18 kilogrammes pour le poids de l'air employé à la combustion de 1 kilogramme de houille.

$$\text{Volume} = \frac{10^k,95}{1,293} = 8^{m3},468.$$

POIDS ET VOLUME DES PRODUITS DE LA COMBUSTION

$$CO^2 = 0,83 \times 3^k,667 = 3^k,04$$

$$\text{Volume} = \frac{3,04}{1,53 \times 1,293} = 1^{m3},533.$$

$$\text{Vapeur d'eau produite dans la combustion} = 0,04 \times 9 = 0^k,36$$

$$\text{Volume} = \frac{0,36}{0,622 \times 1,293} = 0^{m3},448.$$

$$\text{Eau vaporisée} = 0^k,09$$

$$\text{Volume} = \frac{0,09}{0,622 \times 1,293} = 0^{m3},112.$$

$$Az = 0^k,01 + 8^k,43 = 8^k,44$$

$$\text{Volume} = \frac{8,44}{0,97 \times 1,293} = 6^{m3},715.$$

Poids total des produits de la combustion

$= 3{,}04 + 0{,}36 + 0{,}09 + 8{,}44 = 11^{k}{,}930.$

Volume total des produits de la combustion

$= 1{,}533 + 0{,}448 + 0{,}112 + 6{,}715 = 8^{m3}{,}808.$

PUISSANCES CALORIFIQUES DE QUELQUES COMBUSTIBLES ET TEMPÉRATURES PRODUITES PAR LA COMBUSTION COMPLÈTE DANS L'AIR EXACTEMENT NÉCESSAIRE.

Carbone pur donnant	CO	= 2.473	Température	= 1.472°
	CO^2	= 8.080	»	= 2.750
Tout venant		= 7.800		
Gailletterie		= 8.100		
Charbon de bois		= 6.800		
Coke		= 7.800		
Gaz d'éclairage		= 10.180		
Alcool		= 7.183		
Hydrogène		= 34.462	Température	= 2.670°
Phosphore		= 7.500	»	= 5.000
Fer donnant FeO		= 1.350	»	= 3.070
Plomb		= 266	»	= 2.200
Soufre		= 2.240	»	= 1.980
Oxyde de carbone pour devenir	CO / CO^2	= 2.403	»	= 3.000
C^2H^4		= 13.063		
C^4H^4		= 11.857		

ESSAI INDUSTRIEL DES HOUILLES.

On distille dans le platine un échantillon bien choisi de poussière de houille (200 grammes). Cette opération donne le coke. Les cendres s'obtiennent en brûlant le coke sur une capsule plate. Les trois éléments : matières volatiles, coke, cendres sont alors connus.

On complétera ces essais en déterminant directement la quantité de vapeur produite par 1 kilogramme de houille brûlée sur la grille d'une chaudière.

COMBUSTIBLES	PUISSANCE CALORIFIQUE		POIDS D'OXYGÈNE ET D'AIR nécessaires à la combustion complète; l'oxygène étant combiné en entier	
	en supposant 10 °/₀ de cendres	en supposant les cendres enlevées	Oxygène	Air
Bois à 30 °/₀ d'eau	2.440	2 710	1ᵏ,10	4ᵏ,40
Bois ligneux	3.795	4 220	1ᵏ,47	6ᵏ,38
Tourbe	4.600	5.110	1ᵏ,74	7ᵏ,55
Lignite ligneux	5.120	5.690	1ᵏ,91	8ᵏ,31
Lignite parfait	5.980	6.650	2ᵏ,19	9ᵏ,54
Houille maigre à longue flamme . .	6.420	7.130	2ᵏ,34	10ᵏ,17
Houille à gaz.	7.310	8.125	2ᵏ,63	11ᵏ,44
Houille grasse maréchale	7.320	8.135	2ᵏ,64	11ᵏ,48
Houille demi-grasse.	7.400	8.220	2ᵏ,67	11ᵏ,61
Houille maigre à courte flamme . .	7.580	8.420	2ᵏ,73	11ᵏ,89
Anthracite	7.510	8.345	2ᵏ,72	11ᵏ,64

CALCUL DE LA QUANTITÉ DE CHARBON NÉCESSAIRE A LA DÉCOMPOSITION DE 1 KILOGRAMME DE CaO, CO^2, DANS LA FABRICATION DE LA CHAUX.

Quantité de chaleur nécessaire pour décomposer 1 kilogramme de CaO, CO^2 = 370 calories.

Chaleur totale = Chaleur de décomposition + chaleur emportée par CO^2 + chaleur conservée par CaO + chaleur emportée par les produits de la combustion.

$$370 + \underbrace{0^k,44 \times 0,21 \times t}_{CO^2} + \underbrace{0^k,56 \times 0,20 \times t'}_{CaO} + p(A+1)0,24 \times t = p \times 7500$$

Si

$t = t' = 1100°$ température de décomposition,

on a :

$p = 0^k,151$ = poids du charbon nécessaire à la décomposition de 1 kilogramme de CaO, CO^2.

A = poids de l'air nécessaire à la combustion de 1 kilogramme de charbon.

C'est-à-dire que 1 kilogramme de charbon décomposera 6k,6 de calcaire.

Si $t = t' = 0°$, $p = 0^k,05$

C'est-à-dire que 1 kilogramme de charbon décomposera 20 kilogrammes de calcaire.

Foyer.

FOYER DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

La grille est formée de barreaux paraboliques plus épais en haut qu'en bas pour faciliter le départ des cendres et scories ; ils sont maintenus parallèles par des butées venues de fonte, à la partie supérieure.

La hauteur des barreaux est favorable à leur refroidissement.

Rapport entre le vide et la surface totale d'une *grille* = $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$.

Un sommier intermédiaire est nécessaire si les barreaux atteignent $1^m,20$.

La dilatation doit être rendue libre.

Une murette établie derrière la grille ou autel, en contrariant la flamme, facilite le mélange des gaz combustibles et comburants. La porte doit être double pour éviter ses déformations ; il est même avantageux dans certains cas, d'établir un courant d'air.

Le cendrier possède souvent une porte qui permet de régler l'arrivée de l'air sous la grille et de réaliser des économies de combustible pendant les arrêts.

On dispose souvent une bâche remplie d'eau où tombent les cendres. Son avantage est de diminuer l'échauffement de la grille et de permettre de suivre par réflexion la marche de la combustion. Les charges nombreuses et répétées donnent meilleur résultat comme quantité de vapeur produite que des charges considérables.

Éviter de rendre solidaires les parties directement influencées par la chaleur avec les autres parties de la chaudière, afin d'éviter les inégalités de dilatation.

Calcul de la surface d'une grille.

$$M = p s N'$$

M = chaleur à fournir par heure.

p = poids du combustible brûlé par mètre carré et par heure.

s = surface de la grille.

N' = calories utilisées par 1 kilogramme de combustible brûlé.

Pour la houille Toutvenant, avec une épaisseur de 12 centimètres, $p = 60$ à 70 kilogrammes.

Pour les locomotives, $p = 200$ kilogrammes environ.

Pour les foyers d'appartement, $p = 50$ kilogrammes.

Pour le coke, avec une épaisseur de 20 centimètres, $p = 80$ à 100 kilogrammes.

Pour le bois, avec une épaisseur de 25 centimètres, $p = 150$ à 200 kilogrammes.

Si $\frac{N'}{N} = \frac{3}{4}$ et si l'on prend $M = 600.000$ calories.

Houille . . $s = \frac{600.000}{420.000} = 1^{m2},43 = 0,95 \times 1,60$

Coke . . . $s = \frac{600\ 000}{600.000} = 1^{m2},00 = 0,80 \times 1,25$

Bois . . . $s = \frac{600.000}{400\ 000} = 1^{m2},50 = 0,90 \times 1,66$

Influence de l'épaisseur du combustible sur la chaleur de combustion.

CO^2 en présence d'un excès de charbon, devient :

$$CO^2 + C = 2CO$$

C pour devenir CO^2 dégage 8.000 calories.

C pour devenir CO a besoin de 2.473 calories.

Il en résulte donc une perte de :

$$8000 - 2 \times 2.473 = 3.054 \text{ calories}$$

Calcul de la température dégagée dans la combustion en supposant que le charbon se transforme en oxyde de carbone.

1 kilogramme de C a besoin, pour devenir CO de $1^k,33$ d'oxygène ou de $5^k,797$ d'air renfermant $4^k,467$ d'azote. On obtient $2^k,33$ de CO.

$$4^k,467 \times 0,244x + 2^k,33 \times 0,242 \times x = 2.473 \text{ calories}$$

d'où : $x = 1472°$.

On trouverait de même que C, pour devenir CO^2, dégage 2750°.

Calcul de la température d'un foyer

$$mN = (A + 1)\,C\,(T - \theta)$$

N = calories produites par la combustion complète de 1 kilogramme de houille = 8.000

m = coefficient résultant de la combustion incomplète, variant de 1 à 0,75.

A = poids d'air employé pour brûler 1 kilogramme de houille.

C = chaleur spécifique des gaz de la combustion = 0,25.

T = température cherchée.

θ = température initiale de l'air.

Pour $m = 0{,}75$, $\theta = 0$ et $A + 1 = 12^k$, $T = 2.000°$
$m = 0{,}75$, $\theta = 0$ et $A + 1 = 24^k$, $T = 1.000°$

CHEMINÉES

Tirage. — Force qui produit le tirage :

$$F - f = \frac{\Omega\, H\, d_o\, \alpha\, (t - \theta)}{(1 + \alpha\theta) \times (1 + \alpha t)}$$

Elle est proportionnelle à la différence des températures t et θ.

Ω = section de la cheminée.

d_o = poids de 1 mètre cube d'air à 0° et 760 millimètres.

Vitesse à la sortie des gaz de la combustion :

$$V = \sqrt{2g \frac{H\alpha\,(t - \theta)}{(1+\alpha\theta)\times(1+R)}}$$

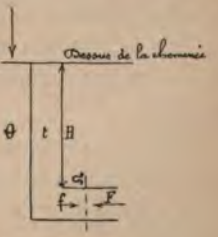


Fig. 180

$\sqrt{1 + R}$ varie entre 4 et 6.

Pour les cheminées d'usines où θ est négligeable à côté de t qui varie de 150 à 500°

$$V = \sqrt{\frac{2g\,H\alpha t}{1 + R}} = 0{,}88\,\sqrt{H \times \alpha \times t}$$

V a une valeur moyenne de 3 à 4 mètres environ qui est suffisante pour s'opposer aux vents.

L'excès de pression des gaz de la combustion sur la pression atmosphérique est de 28 millimètres d'eau au sommet de la cheminée pour une température de 325°.

Poids des gaz de la combustion échappés par seconde :

$$P = \Omega \times V \times \frac{d_o}{1+\alpha t}.$$

Calcul des dimensions d'une cheminée.

La hauteur est donnée par des considérations locales.

$p \times s = 100\ \Omega\ \sqrt{H}$ pour chaudières à vapeur.

p = poids de combustible brûlé par mètre carré de surface de grille et par heure.

s = surface de la grille.

ps = poids du combustible brûlé dans 1 heure.

Ω = section de la cheminée.

H = hauteur de la cheminée.

On en déduira Ω en adoptant pour p le maximum de la consommation qu'on aura soin de multiplier par 1,5.

Dans la pratique on prend souvent comme section minimum des cheminées 0,25 à 0,15 de la surface de la grille.

Exemple : Déterminer la section Ω d'une cheminée de 20 mètres de hauteur, sachant que le poids maximum du charbon brûlé par heure est de 125 kilogrammes ?

$$ps = 125 \text{ kilogrammes}$$
$$125^k \times 1,5 = 100\,\Omega\,\sqrt{20}$$
$$\Omega = \frac{1,875}{\sqrt{20}} = 0^{m2},42.$$

correspondant à un carré de $0^m,65$ de côté.

CAUSES DE L'INSUFFISANCE DU TIRAGE.

1° Insuffisance des orifices d'admission de l'air. — On y obvie par l'établissement de ventouses.

2° Insuffisance de hauteur. — Il faut au moins 5 mètres pour les habitations.

3° Largeur trop grande. — L'air s'échauffe peu et il s'y établit des courants descendants.

4° Action des foyers les uns sur les autres.

5° Action du soleil.

6° Action du vent. — Un vent horizontal n'a pas d'action sur le tirage. La fumée des cheminées d'usines qui a 3 mètres de vitesse au moins peut vaincre l'action des vents dans la plupart des cas. Pour les cheminées d'habitation la température de sortie n'est que de 40° et la vitesse de 1 mètre environ, il est nécessaire de faire usage de mitres.

7° Humidité de l'air extérieur.

8° Température de l'air extérieur.

Les cheminées tirent mal par les temps chauds et humides : $t-\theta$ diminue, par suite V et P ; de plus la quantité d'air pur et par suite d'oxygène aspiré devient insuffisante pour la combustion, P se composant d'air pur et de vapeur d'eau en grande quantité.

Dans les locomotives et locomobiles, on augmente le tirage par un jet de vapeur dans la cheminée.

Un jet intermittent de vapeur, plus efficace que le jet continu, produit un travail de $\frac{1}{5}$ environ supérieur à celui que la vapeur pourrait produire, et augmente beaucoup la vitesse à la sortie qui peut être portée à plus de 50 mètres par seconde. On obtient ainsi par chaque kilogramme de houille un appel de 650 mètres cubes d'air.

Avec un jet d'air comprimé on n'atteint pas un aussi bon résultat.

Chaleur perdue par les gaz qui s'échappent des cheminées.

$$M = p \times s \times c\,(A + 1)\,(t - \theta)$$

M= nombre de calories perdues.

p = poids de combustible brûlé par mètre carré de grille.

s = surface de la grille.

c = capacité calorifique des gaz de la combustion ou de l'air.

A= poids de l'air employé pour brûler 1 kilogr. de combustible = 18 kilogrammes en pratique pour la houille.

t = température des gaz à la sortie.

θ = température de l'air extérieur.

1 kilogramme de charbon produit 8.000 calories environ.

Si ps = 1 kilogramme, $t = 200°$, $\theta = 0$,

On arrive à M = 912 calories perdues.

$\frac{912}{8.000} = 0{,}114$ = rapport entre la chaleur perdue et la chaleur du foyer.

Il y a donc plus du $\frac{1}{10}$ de la chaleur perdue.

CONSTRUCTION DES CHEMINÉES

Cheminées en briques.

Elles sont à section ronde pour résister davantage au vent.

Dans ce cas, le vent est supposé exercer une pres-

sion de $\frac{300}{2} = 150$ kilogrammes par mètre carré de surface projetée sur un plan vertical.

On prend $na = nb =$ rayon supérieur connu.

Sur le bord de la mer on prend pour s'opposer aux vents régnants $aa' = 22$ centimètres $+ 11$ cent. $=$ 33 centimètres; ae parallèle au fruit extérieur.

La hauteur est partagée en rouleaux de 5 à 8 mètres de hauteur. Pour que la section vide ne soit pas réduite en descendant, il faut que la verticale as tombe à la droite de f.

$$es = h \times p$$

Comme :

$ef =$ 11 à 12 centimètres

$$h > \frac{0{,}12}{p}$$

ou :

$$h > \frac{0{,}12}{0{,}025} \text{ ou } 4^{m},80$$

comme minimum.

Quelquefois, le fruit intérieur de la maçonnerie est plus petit que le fruit extérieur.

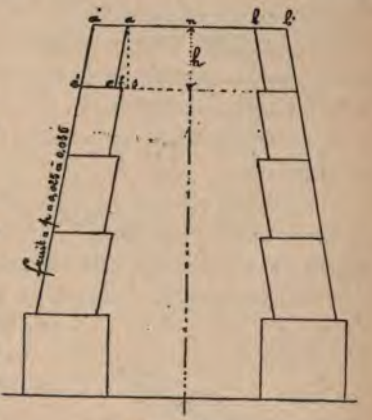


Fig. 181

Elles s'exécutent sans échafaudages extérieurs.

Des crampons servant d'échelle sont scellés tous les 30 centimètres environ pour servir à la visite intérieure et au ramonage.

Prix en élévation.

On compte en moyenne 1 mètre cube de maçonnerie par cheval de force de la machine, et comme main-d'œuvre environ 12 heures par mètre cube.

1 mètre cube de maçonnerie de briques réfractaires = 110 fr.
1 » » » de Bourgogne = 80 »
Rejointoiement = 1 franc par mètre superficiel.

Cheminées en tôle.

Hauteur maxima 20 à 25 mètres, composées de viroles rivées de 6 mètres de hauteur chacune environ. Diamètre intérieur à peu près uniforme de 50 centimètres. Epaisseur de la tôle 5 millimètres.

On les lève au moyen de chèvres les soutenant à peu près au milieu de la longueur.

Les cheminées de 24 mètres de hauteur exigent une chèvre de 15 mètres de hauteur. Leur poids est de 1 500 kilogrammes environ.

Elles reposent sur un socle en fonte boulonné à la maçonnerie.

Un registre est placé près du socle.

Les 3 haubans peuvent être formés chacun de 4 fils de fer de 4 millimètres de diamètre ; ils sont fixés à une collerette en fer embrassant la cheminée, et d'autre part scellés dans la maçonnerie à leur autre extrémité.

Fig. 182

On peut employer le tendeur ci-contre, du côté du scellement dans le mur. Il se compose d'une tige à œil filetée à ses deux extrémités agissant sur deux chapes qui se rapprochent quand on fait tourner cette tige à l'aide d'une broche.

TRANSMISSION DE LA CHALEUR A L'AIR

Formule générale applicable au cas d'une paroi située entre un intérieur chaud et un extérieur froid :

$$M = SQ\ (T - \theta)$$

M = quantité de chaleur transmise en 1 heure.
S = surface de la paroi en mètres carrés.
T = température intérieure.
θ = température extérieure.
Q = quantité de chaleur qui traverse la paroi par mètre carré et pour une différence de température de 1°

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'}$$

K = coefficient de refroidissement.
e = épaisseur de la paroi.
c = coefficient de conductibilité de la paroi.
K' = coefficient de réchauffement.

Cas d'un mur en maçonnerie.

K = 5,70.
c = 1,60.
K' = 5,60.
Pour une épaisseur e = 0,50.
Q = 1 cal., 50 = chaleur traversant 1 mètre carré de mur pour une différence de température de 1° par un temps calme.

Pour vitesse de l'air = 0m, Q = 1cal.,50 pour 1m2 et pour 1 heure
» = 1m, Q = 2cal.,10 » »
» = 2m, Q = 2cal.,14 » »
» = 4m, Q = 2cal.,15 » »

CAS DES VITRES D'UN APPARTEMENT.

$K = K' = 4{,}91$

$\frac{e}{c}$ est négligeable.

Pour vitesse de l'air $= 0^m$, $Q = 2^{cal},45$ pour 1^{m2} et pour 1 heure
» $= 4^m$, $Q = 4^{cal},90$ « »

Pour le laiton, le cuivre, le zinc $K = 2{,}20$; ce qui explique pourquoi on recouvre les locomotives de laiton.

CAS D'UN TUYAU EN FONTE RENFERMANT DE LA VAPEUR OU DE L'EAU CHAUDE.

$$M = SQ\,(T - \theta)$$

T = température de la vapeur.

θ = température extérieure.

Si $T - \theta < 25°$ { Q varie de 5,20 (pour les surfaces planes ou les corps de grandes dimensions) à 7,70 pour les corps courbes de petites dimensions).

Si $T - \theta > 25°$, des tables donnent les valeurs de Q.

Exemple : $T = 100°$, $\theta = 15°$

$Q = 11{,}45$ pour la fonte,

et $M = 973$ calories pour 1 mètre carré.

Il en résulte une quantité de vapeur condensée par mètre carré de :

$$\frac{973}{537} = 1^k,80 \text{ pour la fonte}$$
$$1^k,07 \text{ pour le fer blanc}$$
$$1^k,80 \text{ pour la tôle}$$
$$1^k,05 \text{ pour le cuivre.}$$

MATIÈRES EMPLOYÉES POUR COMBATTRE LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR.

Corne, paille, terre, liège, feutre, mastics, produits *Müller*, caoutchouc, coton, laine, cordages.

TRANSMISSION DE LA CHALEUR A L'EAU

Problème 1. — Un serpentin de 34 millimètres de diamètre et de 42 mètres de développement amène de la vapeur à 4 atmosphères dans un bac contenant 400 kilogrammes d'eau à 8°. Quelle doit être la chaleur fournie par heure par chaque mètre carré de serpentin pour porter cette eau à 100° en 4 minutes ?

$$4^{m2},48 \times (135° - 54°) \times Q = 400^{k} (100° - 8°) \frac{60'}{4'}$$

d'où : Q = 1530 calories à l'heure.

$4^{m2},48$ = surface du serpentin en contact avec l'eau.

135° = température de la vapeur à 4 atmosphère

$54° =$ température moyenne de l'eau $= \frac{100° + 8}{2}$

Problème 2. — Quelle est la quantité de chaleur Q que devrait fournir à l'heure le même serpentin pour vaporiser en 11', 250 kilogrammes d'eau à 100° ?

$$4^{m2},48 (135° - 100) Q = 250^{k} \times 537 \times \frac{60}{11}$$

d'où : Q = 4.672 calories

L'eau absorbe au repos 80 fois plus facilement la chaleur que l'air.

La chaleur absorbée croît rapidement avec la vitesse de l'eau.

En faisant passer la vapeur dans un manchon et de l'eau dans un tuyau, on a trouvé les résultats suivants :

Au repos.		Q = 700 à 800 calories
Vitesse de l'eau	= 0m,20,	Q = 1.500 calories
»	= 0,30,	Q = 2.400 »
»	= 0,50,	Q = 2.950 »
«	= 1,00,	Q = 3.700 »

Q = chaleur absorbée par l'eau par mètre carré et par heure.

Problème 3. — Quantité de vapeur à 5 atmosphères nécessaire pour chauffer à 80°, 1 mètre cube d'eau prise à 20°, la vapeur agissant par barbottage ?

Chaleur dépensée = 1000^{k} (80 — 20) = 60.000 calories.

T = 150°; la quantité de vapeur nécessaire x sera donnée par :

$$x\,(606{,}5 + 0{,}305\,T - 80) = 60.000$$

d'où : $x = 105^k$.

roblème 4. — On veut chauffer à l'heure et à 85°, au moyen d'une chaudière et d'un réservoir supérieur, 2.000 litres d'eau prise à 5°.

Chaleur à fournir au réservoir supérieur = 2.000 (85—5) = 160.000 calories, soit 200.000 pour tenir compte des pertes $\left(\frac{25}{100}\right)$. Si l'eau en arrivant au réservoir se refroidit de 10°, l'eau arrivant de la chaudière en 1" sera P tel que :

$$P \times 10 \times 3.600 = 200.000, \quad \text{d'où :} \quad P = 5^k,55.$$

$$\text{Perte de charge} = H\left(1 - \frac{d}{d'}\right)$$

H = hauteur du réservoir au-dessus de la chaudière,
d = densité de l'eau à 95° = 0,962,
d' = densité de l'eau à 85° = 0,969.

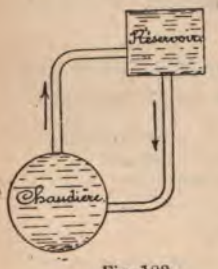


Fig. 183

Si H = 5 mètres, perte de charge totale = 0,03425.

Si la longueur de la conduite = 15 mètres :

$$j = \frac{0{,}03425}{15} = 0{,}00228$$

On a :

$$D = \frac{1}{3}\sqrt[5]{\frac{Q^2}{j}}, \quad Q = 0^{m3},00555$$

d'où : $D = 0^m,140$ et $V = 0^m,37$ = vitesse par seconde.

CHAUFFAGE ET VENTILATION DES APPARTEMENTS

1° Chauffage.

Problème. — Il s'agit de maintenir dans un bâtiment de 40 mètres $\times$ 10^m $\times$ 12^m de hauteur, une température intérieure de 16°. Le bâtiment est formé de 3 étages de 4 mètres de hauteur chacun, chaque étage contient 40 personnes et est éclairé par 10 becs de gaz allumés pendant 5 heures et consommant chacun 100 litres de gaz à l'heure.

$$M = R + E + H = L + U \quad \text{(le régime étant établi)}$$

M = chaleur nécessaire.
R = chaleur dégagée par la respiration.
E = chaleur dégagée par l'éclairage.
H = chaleur dégagée par l'appareil de chauffage.
L = chaleur perdue par transmission.
U = chaleur emportée par l'air de ventilation.

Calcul de L

S surface de transmission = S_1 murs + S_2 vitres + S_3 plafonds + S_4 sol.

$S_1 = (40 \times 2 + 10 \times 2)\ 12 - S_2 = 1200 - 300 = 900^{m2}$
$S_2 = 25$ fenêtres par étage ayant chacune $4^{m2} = 25 \times 4 \times 3 = 300^{m2}$
$S_3 = 40 \times 10 = 400^{m2}$
$S_4 = 40 \times 10 = 400^{m2}$.

La température de l'air extérieur étant supposée de 6° et celle des caves et des combles de 11°

$L_1 = 900^{m2} \times q_1\ (16 - 6) = 13.500$ calories; $(q_1 = 1{,}50)$
$L_2 = 300 \times q_2\ (16 - 6) = 18.000$ » $(q_2 = 6$ » $)$
$L_3 = 400 \times q_3\ (16 - 11) = 3.600$ » $(q_3 = 1{,}80)$
$L_4 = 400 \times q_4\ (16 - 11) = 3.600$ » $(q_4 = 1{,}80)$

$L = 38.700$ calories.

Calcul de U

Le volume introduit par la ventilation par heure et par personne étant supposé de 20 mètres cubes.

$$U = 20^{m3} \times 40 \times 3 \times 1^{k},293 \times 0{,}237\ (16 - 6) = 7.375 \text{ calories.}$$

Calcul de R

L'homme brûle 11 gr., 32 de C et 0 gr., 52 de H par heure, ce qui correspond à 70 calories produites.

$$R = 70 \times 40 \times 3 = 8.400 \text{ calories.}$$

Calcul de E

1 bec brûlant 100 litres par heure produit 900 calories (1 bougie produit 100 calories. — 1 lampe produit 400 calories).

$$E = \frac{900}{24} \times 10 \times 3 \times 5^{H} = 5.625 \text{ calories en moyenne.}$$

Calcul de H et de l'appareil de chauffage

$$L + U = R + E + H$$

d'où :

$$H = L + U - (R + E) = 32.050 \text{ calories}$$

$$ps = \frac{32.050}{4.000} = 8^{k},012$$

4.000 = calories utilisées dans la combustion de 1 kilogramme de charbon.

Si la ventilation est plus intense, U augmente et par suite H.

La température T de l'air à sa sortie de l'appareil de chauffage est donnée par l'expression :

$$V \times 1{,}293 \times 0{,}237\ (T - \theta) = H$$

Si $V = 20 \times 40 \times 3 = 2.400^{m3}$ et $\theta = 6°$,

$H = 32.050$, $T = 49°,6$.

CHALEUR TRANSMISE PAR LES CALORIFÈRES PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE ET PAR HEURE

Calorifère à air chaud = 3.500 calories quand on chauffe l'air de 100 à 150°.

Calorifère à eau chaude :

$$M = SQ\,(T - \theta),\quad Q \text{ varie de } 10 \text{ à } 12$$

Si l'eau arrivant à 100° sort à 60°,

$$T = \frac{100 + 60}{2} = 80°$$

Si l'air arrivant à 0° s'élève à 40°,

$$\theta = 20°, \qquad M = 600 \text{ calories.}$$

Calorifère à vapeur :

$$M = SQ\,(T - \theta), \qquad Q = 10 \text{ à } 12$$

Si la vapeur arrive à deux atmosphères.

$$T = 120°$$

Si la température moyenne de l'air = 20°.

$$M = 1.000 \text{ calories.}$$

2° Ventilation.

Problème. — Quelle doit être la section d'une cheminée d'appel circulaire de 18 mètres de hauteur, appelant 18.000 mètres cubes d'air à l'heure, sachant que l'air s'en échappe à une température de 20° supérieure à celle de l'air ambiant ?

$$P = \frac{\Omega d_o}{1 + \alpha T}\sqrt{\frac{2g\,H\,\alpha\,(T - \theta)}{(1 + \alpha\theta)\,(1 + R)}} = \text{poids par seconde}$$

$$\sqrt{\frac{1}{1 + R}} = \frac{1}{2} \text{ en moyenne}$$

On trouve :

$$P = 6^k,46, \quad \text{d'où} \quad \Omega = 3^{m2},42 \quad \text{et} \quad D = 2^m,07$$

Vitesse dans la cheminée = $1^m,60$.

Le volume d'air appelé par la combustion par kilogramme de charbon sera donné par la relation :

$$mps\,N = V \times 1^{k},293 \times 0,237\ (T - \theta)$$

Si $m = \frac{7}{8}$, et $T - \theta = 20°$, $mN = 7000$, $\frac{V}{ps} = 1.140$ mèt. cubes.

On termine généralement la cheminée par une mitre augmentant la vitesse de sortie sans réduire sensiblement le volume de gaz écoulé.

Chauffage des trains de chemins de fer.

1° *Bouillottes ordinaires à l'eau chaude.* — Elles sont remplies d'eau chaude dans les gares où sont installées des chaudières spéciales, et ensuite placées dans les voitures.

2° *Thermosiphon.* — Ce système conserve les bouillottes mais en supprime la manutention. Il se compose d'une chaudière tubulaire fixée sous le châssis des voitures qui distribue l'eau chaude dans des chaufferettes à tubes installées sous les pieds des voyageurs. Les grilles sont chargées de charbon de tourbe qui brûle lentement. Les raccords des tuyaux sont à joints munis de bagues en caoutchouc pour permettre le glissement des tuyaux produit par la dilatation et la suspension. La régularité du chauffage est obtenue au moyen de cônes de réglage, permettant de faire varier l'appel d'air.

3° *Bouillottes contenant un mélange de glycérine et d'eau ne congelant qu'à —17°.* Les chaufferettes présentent un carneau intérieur dans lequel on introduit une briquette de charbon de bois à combustion lente.

4° *Chaufferettes remplies au moyen de l'acétate de soude.*

5° *Emploi de la vapeur et de l'air comprimé combinés.*

ECOULEMENT DE LA VAPEUR

Les formules de l'écoulement des gaz sont applicables :

TABLEAU DES VOLUMES ET DES POIDS D'EAU ET DE VAPEUR ÉCOULÉS EN UNE MINUTE PAR UN ORIFICE D'UN CENTIMÈTRE CARRÉ

PRESSIONS effectives en kilogr. par cent. carré	POIDS de l'eau en kilogr. Densité = 1	VOLUMES de vapeur en litres	POIDS de 1 litre de vapeur en kilogr.	POIDS de la vapeur en kilogr.
1k000	54k600	1.979lit.	0k000.576	1k140
1,500	62,712	1.816	0,000 839	1,524
2,000	76,986	1.746	0,001.093	1,908
2,500	86,268	1.727	0,001.341	2,316
3,000	94,458	1.719	0,001.535	2,724
3,500	102,102	1.686	0,001.826	3,078
4,000	109,200	1.663	0,002.064	3,432
4,500	115,752	1.632	0,002.297	3,762
5,000	122,304	1.616	0,002.530	4,092
5,500	128,310	1.602	0,002.760	4,422
6,000	133,770	1.589	0,002.985	4,740
6,500	139,230	1.577	0,003.212	5,064
7,000	144,144	1.565	0,003.436	5,376
7,500	149,604	1.554	0,003.657	5,682
8,000	154,518	1.545	0,003.876	5,988
8,500	159,482	1.536	0,004 095	6,288
9,000	163,800	1.527	0,004.315	6,588
9,500	168,168	1.518	0,004.530	6,876
10,000	172,596	1.510	0,004.745	7,170

On s'est servi des formules suivantes :

Pour l'eau :

$$Q = 0{,}65 \times 84 \sqrt{p}.$$

Pour la vapeur :

$$Q' = 60 \sqrt{\frac{pd}{2{,}37 \log. (p+1) + 0{,}904}}$$

(formule empirique de M. Réal)

p = pression effective en kilogrammes par centimètre carré (excès de la pression de la vapeur sur la pression atmosphérique).

d = densité de la vapeur par rapport à l'eau.

Q = poids d'eau en kilogrammes écoulé en 1 minute.

Q'= poids de vapeur en kilogrammes écoulé en 1 minute.

Mesure de la pression de la vapeur.

Manomètres à mercure. — Manomètres métalliques Bourdon. — On peut aussi se servir des soupapes de sûreté.

Extrait de l'ordonnance du 22 mai 1843, en ce qui concerne les soupapes de sûreté.

Le diamètre des orifices de ces soupapes sera réglé d'après la surface de chauffe et la tension de la vapeur conformément à la table annexe de l'ordonnance.

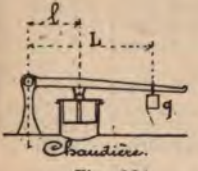


Fig. 184

La largeur de la surface annulaire de recouvrement sera plus petite que le $\frac{1}{30}$ du diamètre de la surface circulaire exposée à la vapeur, et cette largeur ne devra pas excéder 2 millimètres.

Le poids de l'extrémité du levier et la longueur du levier seront réglés de manière que la soupape soit chargée de 1 kilogr., 033 par centimètre carré de surface de l'orifice (surface de la soupape exposée à la vapeur) et par atmosphère de pression effective (= pression de la vapeur — pression atmosphérique).

Exemple : Une chaudière possède une soupape de *sûreté dont* l'orifice a 5 centimètres de diamètre, le

poids propre est de 1 kilogramme, le poids du curseur q placé à l'extrémité du levier, de 5 kil., 700. On demande de déterminer la pression maxima en atmosphères que peut atteindre la vapeur dans la chaudière, sachant de plus que le rapport des bras de leviers $\frac{L}{l} = 10$ et que la pression que le levier exerce sur la soupape = 3 kilogrammes ?

Cette pression exercée par le levier s'obtient directement en soulevant ce levier avec un peson par le point qui s'appuie sur la soupape.

Surface de l'orifice $= \frac{\pi \times 5^2}{4} = 19\,c^2,6$

Quand la soupape sera en équilibre, on aura :

$$(x - 1)\,19,6 \times 1^k,033 = 1^k + 3^k + 5^k,7 \times 10$$

d'où : $$(x - 1) = \frac{61}{19,6 \times 1,033} = 3^{atm.},01$$

$$x = 4^{atm.},01.$$

La pression dans la chaudière à un moment donné peut se déterminer à l'aide d'une soupape de sûreté. Pour cela il suffit de faire marcher le poids curseur jusqu'au moment où la vapeur commence à sortir par la soupape. A ce moment, il y a équilibre ; il reste à mesurer L et l, si l'on connaît au préalable les autres éléments.

CHAUDIÈRES A VAPEUR

Réglementation des Générateurs à vapeur et certains récipients, autres que ceux placés à bord des bateaux.

Extrait du Décret du 30 avril 1880.

Une épreuve doit être faite tous les dix ans. Elle consiste à soumettre la chaudière à une pression effective double de celle qui ne doit pas être dépassée dans le service.

La surcharge d'épreuve, par pression d'eau, ne peut pas être inférieure à un demi-kilogramme ni supérieure à 6 kilogrammes par centimètre carré.

Chaque chaudière devra être munie :

De 2 soupapes de sûreté, laissant échapper la vapeur dès que sa pression *effective* deviendra supérieure au timbre ;

1 manomètre indiquant en kilogrammes la pression effective de la vapeur ;

1 appareil de retenue d'eau automatique placé sur le tuyau d'alimentation ;

1 robinet d'arrêt de vapeur, à l'origine du tuyau de conduite de vapeur ;

2 indicateurs de niveau indépendants.

Toute paroi en contact par une face avec la flamme doit être baignée par l'eau sur sa face opposée.

Nota. — D'après l'Ordonnance de 1843, le *timbre* était la pression *absolue* de la vapeur en *atmosphères :* (le manomètre marquait 1 atmosphère au repos).

D'après les décrets de 1865 et 1880, le *timbre* est la pression *effective* de la vapeur, en *kilogrammes* (différence entre la pression absolue et la pression atmosphérique) : (le manomètre marque 0 kilogramme au repos).

Le niveau de l'eau doit être maintenu à $0^m,06$ au moins au-dessus du plan pour lequel la condition précédente cesserait d'être remplie. (On fait usage de bouchons fusibles en plomb qui permettent à la vapeur de s'échapper dans le foyer et éteindre le feu dès que le ciel du foyer sera mis à découvert).

On doit se garder d'alimenter quand le niveau est accidentellement descendu au-dessous de l'arête supérieure des carneaux ; dans ce cas il faut ralentir le feu pour éviter une explosion. Ces niveaux sont marqués par des lignes très apparentes.

Une chaudière placée dans des conditions ordinaires doit être lavée à froid tous les quinze jours.

Chaudières placées a demeure

La mise en service ne peut avoir lieu qu'après l'autorisation du Préfet.

On en distingue trois catégories basées sur la valeur du produit :

$$V \times (t - 100^0)$$

V = cube, en mètres cubes, total de la chaudière y compris ses bouilleurs et réchauffeurs à l'exclusion des surchauffeurs de vapeur.

t = température de l'eau prise dans les tables de Regnault correspondant à la pression absolue.

Première catégorie :

$$V\ (t - 100^o) > 200$$

Ne peuvent être établies qu'en dehors de toute habitation ou d'un atelier surmonté d'étage.

Nota : Un décret du 29 juin 1886 prescrit de disposer les générateurs en séries et de munir chaque série d'un clapet automatique quand $V\ (t - 100^o)$ est supérieur à 1800^o.

Deuxième catégorie :

$$200 > V\,(t - 100^{o}) > 50$$

Ne peuvent être établies que dans un atelier ne faisant pas partie d'une habitation.

Troisième catégorie :

$$V\,(t - 100^{o}) < 50$$

Peuvent être établies dans un atelier quelconque.

Locomobiles

Les locomobiles sont assujetties aux mêmes épreuves et formalités que les chaudières placées à demeure.

Locomotives

Soumises à des règlements spéciaux.

Récipients a vapeur ou d'eau a haute température d'une capacité supérieure a 100 litres

Assujettis à la déclaration préfectorale prescrite pour les chaudières à demeure. Soumis à des épreuves dont la surcharge sera égale à la moitié de la pression maxima sans que cette surcharge dépasse 4 kilogram. par centimètre carré.

Température prise par le métal des chaudières a foyer intérieur

Chaleur transmise par mètre carré de surface de chaudière chauffée directement = 100.000 calories environ.

Fig. 185

t = température de la face du métal directement en contact avec le foyer.

t' = température de la face du métal en contact avec l'eau.

t'' = température de l'eau.

Chaleur transmise à l'eau :

$$100.000 = 5000\ (t' - t'')$$

5000 = coefficient de convexion pour l'eau.

D'où

$$t' - t'' = 20°$$

Si $t'' = 150°$, [correspondant à une pression de vapeur de 5 atmosphères environ :

$$t' = 170°.$$

Chaleur transmise du foyer à la face extérieure du métal :

$$100.000 = \frac{58,7}{0,01}\ (t - t')$$

58,7 = coefficient de conductibilité du fer. (Ce coefficient est de 362 pour le cuivre).

0,01 = épaisseur de la tôle de la chaudière.

d'où :

$$t - t' = 17° \quad \text{et} \quad t = 187°.$$

Incrustations.

Influence des incrustations sur la température du métal des chaudières

Soit une épaisseur de $0^m,005$ de calcaire.

Chaleur transmise à l'eau :

$$100.000 = 5.000\ (t'' - t''')$$

D'où

$$t'' - t''' = 20°.$$

Chaleur transmise à travers le calcaire :

$$100.000 = \frac{1}{0,005}\ (t' - t'')$$

d'où

$$t' - t'' = 500°$$

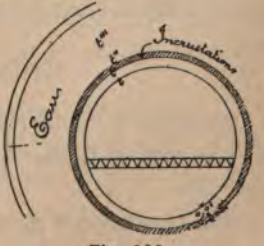


Fig. 186

1 = coefficient de conductibilité du calcaire.

Chaleur transmise du foyer à travers le métal :

$$100.000 = \frac{58,7}{0,01}(t - t')$$

d'où

$$t - t' = 17°$$

donc :

$$t - t''' = 537°.$$

Si $t''' = 170°$ correspondant à une pression de vapeur de 8 atmosphères environ ;

$$t = 707°.$$

On atteint la température du rouge et la chaudière se détruit. La production de la vapeur se trouvera de beaucoup réduite par la couche de calcaire.

Les incrustations sont généralement constituées par :

$$CaO,CO^2 — CaO,SO^3 — CaCl — NaO,SO^3 — KO,SO^3$$

L'eau de Seine contient par mètre cube 0 k. 170 de sels dont :

$0^k,120$ de CaO,CO^2 et $0^k,030$ de CaO,SO^3.

L'épaisseur des dépôts peut se calculer par la considération que 1 mètre carré de surface de chauffe produit 15 kilogrammes de vapeur en une heure ; la densité des dépôts étant supposée = 2.

Hydrotimétrie

Donne de précieux renseignements sur la quantité de sels terreux, calcaires ou magnésiens contenus dans une eau.

Elle repose sur la remarque suivante :

Une dissolution alcoolique de savon versée dans une *eau pure* donne une mousse persistante à la surface,

versée dans une eau calcaire elle donne des grumeaux insolubles avec absence de mousse.

Pour faire une opération, l'on met dans une burette graduée une dissolution titrée de savon dont on connaît le poids d'alcool et de savon. On verse goutte à goutte la dissolution de savon dans l'eau à essayer en agitant. Aussitôt que la mousse est devenue persistante, le nombre de divisions de la burette représente le degré hydrotimétrique de l'eau essayée. Les résultats sont comparables si on emploie la même dissolution de savon et le même hydrotimètre.

Moyens employés pour prévenir les incrustations

Sur l'eau avant l'emploi :

Emploi de l'eau de pluie recueillie dans des citernes.

Emploi de l'eau de condensation.

Emploi de l'eau distillée : cette eau a l'inconvénient d'attaquer les chaudières.

Chauffage préalable à 150 degrés de l'eau par la vapeur ; le dépôt se forme avant l'emploi de l'eau car le sulfate de chaux est moins soluble à chaud qu'à froid.

Purification chimique. — On emploie le chlorure de baryum qui précipite toute la chaux ; le sulfate de CaO donne du sulfate de baryte et le CaO, CO^2 donne du CaCl soluble.

Quand l'eau contient beaucoup de Ca O. 2 CO^2, bicarbonate, et peu de CaO, SO^3, on purifie à l'aide de la chaux seule qui précipite tout le carbonate.

Sur l'eau de la chaudière. — Introduction de matières empêchant l'adhérence :

1° Procédés physiques :

Emploi de l'argile. — Inconvénient de tomber au fond, de brûler la chaudière et de s'introduire dans les tiroirs.

Emploi de la glycérine, fécules, sucre, gommes, pomme de terre.

Le mucilage formé empêche l'adhérence des sels : inconvénient de former une émulsion qui entraîne l'eau.

Emploi des matières colorantes : Bois de campêche, sarments de vigne et toute matière contenant de l'acide tannique. Inconvénient : On risque de brûler la chaudière.

Emploi de graisse. — Inconvénient de produire des mélanges détonants.

Badigeonnage de l'intérieur avec du coaltar.

Emploi de copeaux de fer, verre pilé, coquilles d'huitres ; il y a à craindre l'entraînement des petits fragments.

2° Procédés chimiques :

Un mélange de soude caustique et NaO, CO^2 empêchent la cristallisation de CaO, CO^2, qui donne un dépôt boueux et transforme le gypse en NaO, SO^3 qui reste en dissolution.

Acide oxalique et oxalates précipitent CaO, CO^2.

Emploi des composés des sels de NaO et de matières colorantes ainsi que de matières argileuses ou gélatineuses.

Moyens employés pour pouvoir se servir d'une eau incrustante sans emploi de matières étrangères.

Localisation des dépôts en employant des capsules recevant ces dépôts.

Vidange avant la saturation des sels.

Entretenir l'agitation qui s'oppose à la cristallisation.

Lavages fréquents de la chaudière. On se sert des appareils Duméry, Meyer.

Pour l'eau de mer chargée de sels : On évite les incrustations en marchant à basse pression et en rejetant à la mer la moitié de l'eau. En ne dépassant pas 130 degrés on maintiendra dans l'eau rejetée la proportion de 2 kilogrammes de sels ou chlorures alcalins par mètre cube, sans crainte d'adhérence.

La chaleur perdue est récupérée en partie par des condenseurs à surface.

ENLÈVEMENT DES INCRUSTATIONS DES CHAUDIÈRES

Un homme entre dans la chaudière une fois vide et fait tomber le tartre au moyen d'un marteau. Si la chaudière est tubulaire on peut donner un coup de feu à l'aide de copeaux : le métal se dilate rapidement et les incrustations se détachent.

Le corps tubulaire étant amovible, on le retire et on pique les tubes ; on peut faire usage avantageusement de lanières munies de clous servant de grattoirs. On se sert aussi de NaO, CO^2 qui, bouillant précipite $CaO. SO^3$ en donnant $CaO.CO^2$ que l'on dissout à l'aide de HCl.

Différents systèmes de chaudières.

Pour enlever aux gaz le plus de chaleur possible, il faut un chauffage méthodique, c'est-à-dire que la circulation de l'eau doit être en sens inverse de celle des gaz.

Chaudières a bouilleurs

Entretien facile. Grande stabilité dans la production de la vapeur, car le volume de l'eau = 12 fois le volume à vaporiser en une heure environ.

Inconvénients : Très encombrantes. Circulation de la fumée par les carneaux n'est pas assurée. Il y a grande perte de chaleur. Rendement faible. Production de vapeur pour 1 kilogramme de houille descend à 5 kilogrammes ; cette production pouvant atteindre 7 kilogrammes avec une chaudière à réchauffeur.

Chaudières tubulaires

Nettoyage intérieur difficile. On fait le foyer et corps tubulaire amovibles. Incrustations difficiles à enlever. Utilisent mieux la chaleur que les chaudières à bouilleurs. A vaporisation rapide (Belleville-Field).

Calcul des dimensions des chaudières a bouilleurs

$$rps\,N = \mu\lambda$$

ps = poids de combustible brûlé sur la grille en une heure.

N = puissance calorifique du combustible.

r = rendement calorifique.

μ = poids de vapeur nécessaire par heure.

λ = calories nécessaires pour la production de la vapeur

$$= 606{,}5 + 0{,}305\,t - \theta.$$

Application. — Calcul de la grille. — Données : N = 8 000 ;

t (température de l'eau ou de la vapeur) = 150°.

θ (température initiale de l'eau) = 0°.

On a :

$$\mu = 12{,}28 \times rps$$

Vapeur produite par 1 kilogramme de combustible :

$$= \frac{\mu}{ps} = 12{,}28 \times r$$

Si $\mu = 500$ kilogrammes,
$p = 60$ »
$r = \frac{1}{2}$ environ, $\left(\text{il varie de } \frac{1}{2} \text{ à } \frac{3}{4}\right)$ correspondant à une production de vapeur de 6 à 9 kilogr. par kilogramme de houille.

On a :

$s = 1^{m2},39$ = surface de la grille.

Calcul des bouilleurs : En admettant 15 kilogram. de vapeur produite par 1 mètre carré de surface de chauffe :

S = Surface de chauffe $= \frac{500 \text{ k.}}{15} = 33^{m2},33,$
d = diamètre des bouilleurs.
D = diamètre de la chaudière.
l = longueur des bouilleurs.
L = Longueur de la chaudière.

$$2\pi dl + \frac{\pi D}{2} L = S = \text{surface de chauffe}$$

Si

$$l = L, \quad d = \frac{D}{2}, \quad S = 4{,}71 \times D.L$$

Faisant :

$$S = 33^{m2},33 \text{ et } D = 1^{m},00; \quad L = 7^{m},07.$$

Quand on arrive à une longueur exagérée pour L on adopte plusieurs chaudières.

Quantités de vapeur produites pratiquement par kilogramme des divers combustibles

Houille. . .	= 6k,5	Bois sec . .	= 3k,25
Coke . . .	= 6k	Bois humide .	= 2k,45
Charbon de bois	= 5k,67		

Surfaces de chauffe admises dans la pratique

Chaudières tubulaires = 25 à 30 fois la surface de la grille.
Locomotives . . . = 0m²,40 à 0m²,50 par cheval.
Locomobiles . . . = 1m²,00 par cheval.
Machines d'atelier . = 1m²,20 à 1m²,50 par cheval.

Effets des fuites

La vapeur peut être supposée à 5 atmosphères de pression, par suite à 150 degrés. De 150 degrés la température dans la chaudière tombe à 100 degrés, il y a donc 50 calories disponibles par 1 kilogramme d'eau en liberté. Cette chaleur est employée à produire de la vapeur qui remplit la chaudière très rapidement et provoque des accidents.

1m³ d'eau donne 165m³ de vapeur environ.

Accidents produits par les abaissements du niveau de l'eau

La tôle peut se trouver en contact d'un côté avec les gaz de la combustion et de l'autre avec la vapeur.

Tant que la vapeur est saturée, elle conserve la température correspondant à la pression. Dans le cas contraire, elle se surchauffe et atteint 200 à 300 degrés sous une pression peu différente de 5 atmosphères, au lieu de 150 degrés seulement.

Aussitôt la mise en train il se produit un abaissement brusque de pression, par suite ébullition et projection d'eau à 150 degrés avec de la vapeur à 300 de-

grés. Il en résulte condensation, vide et ébullition très violente rappelant les phénomènes de caléfaction.

Pour éviter ces accidents on a fait des appareils qui règlent l'alimentation en la rendant solidaire du niveau dans la chaudière.

Injecteur Giffard

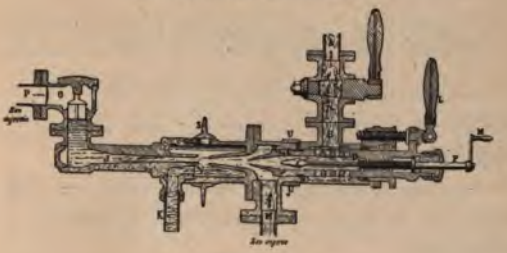


Fig. 187

AB Tuyau de vapeur communiquant avec la chaudière.
CD Autre tuyau qui reçoit la vapeur du précédent par de petits trous : il est terminé par la tuyère T.
EF Tige à vis formant cône à son extrémité, reçoit le mouvement de la manivelle M : sert à régler et intercepter le passage de la vapeur.
H Tuyau d'aspiration de l'eau. L'eau aspirée s'introduit autour du tuyau de vapeur et tend à sortir par la section annulaire qui existe à l'extrémité conique de ce tuyau. On augmente à volonté cette section annulaire au moyen du levier L qui agit sur une vis à pas rapide, dont l'office est de faire avancer ou reculer le tuyau C D et tout son système.
J Ajutage divergent reçoit l'eau injectée par le jet de vapeur qui se condense et lui imprime une partie de la vitesse dont il est animé, en rapport avec la pression de la chaudière.
O Boîte portant une soupape de retenue pour empêcher l'eau de sortir de la chaudière, quand l'appareil ne fonctionne pas.
P Tuyau conduisant à la chaudière l'eau injectée.
K Tuyau de purge ou de trop plein.
S Regard qui permet de constater le jeu de l'appareil, le filet d'eau se voyant distinctement en V.
N Garniture en ganse de coton suiffée.
U Collier servant à fixer l'injecteur.

Calcul de l'épaisseur des chaudières en tole

Cette épaisseur n'est plus soumise à une formule administrative. Le constructeur est libre d'adopter l'épaisseur convenable, mais sous sa responsabilité.

Formules pratiques. — (Résistance des matériaux de M. Contamin).

$e = 0{,}00206 \times n \times d$ pour des tôles de qualité ordinaire.
$e = 0{,}00130 \times n \times d$ pour des tôles en métal homogène.

S'il s'agissait d'un récipient pressé de l'extérieur à l'intérieur il faudrait multiplier les valeurs précédentes de e par 1,5.

n = pression effective de la chaudière = pression absolue de la vapeur — pression atmosphérique (en atmosphères).

d = diamètre intérieur de la chaudière.

Distance entre les axes des rivets réunissant les viroles entre elles

$$d = 2e$$
$$D = 3d$$

d = diamètre des rivets.

e = épaisseur des tôles à assembler.

D = distance entre les rivets.

Pour réunir les extrémités d'une même virole, le nombre de rivets sera le double de celui nécessaire pour réunir les viroles entre elles. Dans ce cas, les rivets se mettront sur deux rangs en quinconce et l'on prendra toujours $D = 3d$.

MACHINES A VAPEUR

Travail produit par la vapeur agissant sans détente

$T = V(h - h')$ en kilogrammètres $= 10330\ P.V.$

$P =$ pression en atmosphères.

$V =$ volume écoulé par seconde à la pression h en mètres cubes, ou volume engendré par le cylindre.

$h =$ pression
$h' =$ contre-pression } en kil. par mètre carré.

Travail produit par 1 kilogramme de vapeur agissant sans détente

$$T = \frac{h - h'}{\delta}$$

h et h', exprimés comme précédemment.

$\delta =$ poids de 1 mètre cube de vapeur à la pression h.

Vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines sans détente

1° *Sans condensation* :

Si la pression de la vapeur dans la chaudière $= 5$ atmosphères.

Pression atmosphérique $h' = 1$.

Si la perte = Résistance des tuyaux $= 1^m,67$ d'eau environ de la chaudière au cylindre.

Pression à l'arrivée dans le cylindre :

$$h = 10^m,33 \times 5 - 1,67 = 49^m,98$$

Pression effective

$$h - h' = 49{,}98 - 10{,}33 = 39^{m},65 \text{ ou } 39.650^{k} \text{ pour } 1^{m2}$$

$$1 \text{ cheval} = 75^{k} \times 60 \times 60 = 270.000 \text{ kilogrammètres} = V\,(h - h')$$

Poids de vapeur dépensée

$$Q = V\delta$$

V = volume de la vapeur dépensée à la pression de 5 atmosphères.

δ = poids de 1 mètre cube de vapeur à 5 atmosphères = 2 k. 584

$$Q = \frac{270.000}{39.650} \times 2^{k},584 = 17^{k},600.$$

2° *A condensation* :

Si la contrepression = 2 mètres d'eau

$$h - h' = 49^{m},98 - 2{,}00 = 47^{m},98 \text{ ou } 47.980 \text{ pour } 1^{m2}$$

$$Q = \frac{270.000}{47.980} \times 2{,}584 = 14^{k},056.$$

Il y a donc économie de 3 k. 5 environ de vapeur par cheval sur les machines sans condensation.

Travail produit par la vapeur agissant avec détente

L'indicateur de Watt permet de relever la courbe des pressions sur un piston.

$$T_p = V \times \frac{z}{z_0}\,(H - h') = 10330.\ P.V'.\ \text{en kgm.}$$

T_p = travail sur le piston pour une course du piston.

P = pression moyenne en atmosphères.

V' = volume total du cylindre en mètres cubes = volume engendré par le piston.

V = volume à pleine pression en mètres cubes.

Détente $= \frac{z}{z_0}$ $\left\{ \begin{array}{l} z = \text{course totale du piston.} \\ z_0 = \text{course à pleine pression.} \end{array} \right.$

H = pression moyenne dans le cylindre mesurée sur le diagramme, en kil. par mètre carré.

h' = contrepression moyenne dans le cylindre mesurée sur le diagramme, en kil. par mètre carré.

Travail produit par 1 kilogramme de vapeur agissant avec détente

$$T = \frac{z}{z_0}\left(\frac{H - h'}{\delta}\right) = \frac{270.000}{Q}$$

δ = poids de 1 mètre cube de vapeur à la pleine pression.

Q = poids de la vapeur produite par cheval.

Vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines avec détente

$$Q = V\delta, \qquad T_p = 270.000 \text{ kilogrammètres}$$

$$V = \frac{T_p}{\frac{z}{z_0}(H - h')}, \text{ d'où } Q = \frac{270.000 \times \delta}{\frac{z}{z_0}(H - h')}.$$

Formule générale du travail de la vapeur travaillant avec détente.

La loi de Mariotte supposée applicable :

$$T_p = Vh\left(1 + \text{log. hyp.}\frac{z}{z_0} - \frac{z}{z_0} \times \frac{h'}{h}\right)$$

Les logarithmes hyperboliques ou népériens sont égaux aux logarithmes ordinaires multipliés par 2,3026.

V = volume à pleine pression en mètres cubes.

h = pression initiale dans le cylindre en kil. par mètre carré.

Si en fin de course la pression = la contrepression h'

DÉTENTE $\frac{z}{z_0}$	TRAVAIL OBTENU en supposant : $Vh = 1$, $T_p = \left(1 + \text{log. nép. } \frac{z}{z_0}\right)$		VOLUME ET POIDS DE VAPEUR DÉPENSÉE par cheval et par heure					
			$h = 5$ atmosphères				$h = 10$ atm. $h' = 1$ sans condensation	
			à condensation $h' = 0{,}10$		sans condensation $h' = 1{,}00$			
	dû à la détente log. nép. $\frac{z}{z_0}$	T_p	V	Q	V	Q	V	Q
			m³	k	m³	k	m³	k
1	0,000	1,000	5,331	13,849	6,531	16,967	2,902	14,141
2	0,693	1,693	3,160	8,209	4,041	10,498	1,749	8,522
3	1,098	2,098	2,563	6,658	3,489	9,064	1,452	7,075
4	1,386	2,386	2,265	5,884	3,294	8,557	1,315	6,407
5	1,609	2,609	2,082	5,409	3,247	8,437	1,238	6,032
6	1,791	2,791	1,955	5,079	»	»	1,192	5,808
7	1,946	2,946	1,862	4,837	»	»	1,162	5,662
8	2,079	3,079	1,780	4,634	»	»	1,154	5,623
9	2,197	3,197	1,720	4,460	»	»	1,137	5,540
10	2,302	3,302	1,684	4,375	»	»	1,134	5,520
20	2,995	3,995	1,452	3,772	»	»	»	»

(en pratique elle est toujours $\frac{1}{4}$ en sus de la contre-pression).

$$T_p = Vh \times \text{log. hyp.} \frac{z}{z_0}$$

Si la contrepression h' est supposée nulle :

$$T_p = V \times h \left(1 + \text{log. hyp.} \frac{z}{z_0}\right)$$

$$T_p = Vh + Vh \text{ log. hyp.} \frac{z}{z_0}$$

Vh = travail de la pleine pression

V = volume engendré par le piston en mètres cubes.
h = pression initiale par mètre carré.

$Vh \times$ log. hyp. $\frac{z}{z_0}$ = travail dû à la détente dans le cas de $h' = 0$.

COMPARAISON ENTRE UNE MACHINE A CONDENSATION ET UNE MACHINE SANS CONDENSATION. (Voir le tableau ci-dessus).

Vapeur dépensée par cheval et par heure :

$$Q = \frac{\delta}{h} \times \frac{270.000}{1 + \text{log}'. \frac{z}{z_0} - \frac{z}{z_0} \times \frac{h'}{h}}$$

$\frac{\delta}{h}$ est à peu près constant.

Q dépend donc de $\frac{h'}{h}$

log.' = log. hyperbolique.

Pour que Q soit le même pour la machine à condensation et la machine sans condensation on doit avoir :

$$\frac{h'}{h} = \frac{1 \text{ atm.}}{h_1}$$

h_1 = pression de la vapeur dans la machine sans condensation.

En supposant :

$$h' = 0{,}1, \quad h_1 = 10\,h.$$

EXPRESSION GÉNÉRALE DU TRAVAIL DE LA VAPEUR

$$T_p = V \times H$$

V = volume engendré par le piston en mètres cubes.
H = pression moyenne par mètre carré.

CAUSES DE PERTES DANS LE TRAVAIL DE LA VAPEUR

1° L'eau entraînée mécaniquement. — L'eau se vaporise à l'échappement en refroidissant les parois du cylindre. A l'admission il se condensera la même quantité d'eau pour restituer la chaleur perdue.

On y remédie : 1° en augmentant le réservoir de vapeur ; 2° en recueillant l'eau entraînée dans une enveloppe.

2° Refroidissement dû aux tuyaux de conduite ou aux parois du cylindre.

Si la vapeur est à 5 atmosphères et la température de l'air de 15°, il faut compter sur une condensation de 2 kil. de vapeur par 1 mètre carré de surface et par heure.

Exemple : Si $T_p = 40$ chevaux, et vapeur consommée par cheval et par heure = 8 kil.

Pour une conduite de 10 centimètres et de 20 mètres de longueur, la perte sera :

$$6^{m2},28 \times 2^k = 12^k,$$

ou comme rapport :

$$\frac{12,56}{320} = 0,04 = 4\,c/o$$

On y remédie en partie en recouvrant les conduites et les cylindres de matières peu conductrices : corne, paille, terre, liège, feutre, mastics, produits Müller, caoutchouc, coton, laine, cordages.

3° *Fuites* par les joints. — L'effet se fait surtout

sentir sur les machines à condensation. Soit : $h = 5$ at. $h' = 0{,}1$, vitesse de la vapeur = 800 mètres à la seconde environ. Pour un orifice de $\frac{1}{4}$ de c^s ; volume = $800 \times 0{,}000025 = 0^{m3},020$ en 1" ou 72 mètres cubes en une heure. Poids = 72×2 k. 584 = 190 k. S'il s'agit d'une machine consommant 8 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure, cette perte équivaut à $\frac{190}{8} = 24$ chevaux.

Il est nécessaire de faire l'épreuve, avant l'emploi, par pression d'eau.

4° Refroidissement dû aux tiges du piston et du tiroir. — Impossible d'y remédier.

5° Espaces morts. — Ils sont représentés par le volume du cylindre excédant la course du piston augmenté du volume dans les boîtes de distribution. Ils sont moins nuisibles dans les machines à détente. On parvient à en annuler l'effet dans le fonctionnement des machines en faisant en sorte qu'en fin de course, la pression dans l'espace mort = la pression initiale. On y parvient, à l'aide des recouvrements des tiroirs donnant avances à l'admission et à l'échappement.

6° Condensations intérieures. — On les évite par l'emploi des enveloppes de vapeur qui réalisent une économie notable de charbon.

Le surchauffage de la vapeur que l'on produit en la faisant circuler dans des tubes chauffés par les gaz du foyer peut compenser en partie les pertes de vapeur.

Établissement des machines à vapeur.

$$T_p = C.h\frac{2N}{60}$$

d'où : $C = T_p \frac{60}{2N} \times \frac{1}{h}$, $C = \frac{1}{4}\pi D^2 L$

T_p = travail sur le piston.
C = volume du cylindre.
N = nombre de tours par minute.
h = pression moyenne donnée.

1° Avantage à prendre L grand et D petit sous le rapport de l'entretien.

2° Le minimum de surface intérieure et par suite le minimum de refroidissement est donné par D = L ; en pratique L = 1,50 à 2 D.

3° Les fuites sont proportionnelles à D ; donc avantage à augmenter L.

4° Avantage à augmenter N, pour empêcher le refroidissement intérieur.

5° Si L > D les pertes du piston diminuent, mais la condensation intérieure augmente.

VITESSES DU PISTON ET NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE ADMIS DANS LA PRATIQUE

MACHINES	VITESSE du piston par seconde	NOMBRE de tours par minute
Moteurs d'atelier . .	0m,80 à 1m,20	30 à 50
Locomobiles . . .	1m,00 à 1m,50	100 à 150
Locomotives . . .	3m,60	150 à 300

L'enveloppe de vapeur venue de fonte avec le cylindre est indispensable dans les machines à condensation. On se contentera de recouvrir d'une matière isolante les cylindres des machines sans condensation.

Détentes diverses. — Pour les grandes détentes on fait usage des tiroirs à détente : détentes Edward, Farcot (pouvant être actionnée par un modérateur). Tho-

mas et Laurens ; Meyer (pouvant être actionnée par un modérateur).

Indicateurs divers. — Les courbes des pressions seront relevées par les indicateurs de Watt-Richard-Garnier.

Condensation. — Les grandes détentes ne peuvent être réalisées que par la condensation.

1° Condensation par mélange.

QUANTITÉ D'EAU D'INJECTION POUR UNE PRESSION DE $\frac{1}{2}$ ATMOSPHÈRE EN FIN DE COURSE

PRESSION de l'air du condenseur en atmosphères	TEMPÉRATURE de l'eau du condenseur	EAU INJECTÉE pour 1 kilogramme de vapeur envoyée au condenseur pour des températures de l'eau employée de		
		5°	15°	25°
	5°	infini		
0,012	10	124°20		
	15	61,60	infini	
0,023	20	40,70	122°20	
	25	30,30	60,60	infini
0,042	30	24,00	40,00	120,20
0,072	40	16,80	23,60	39,40
0,121	50	12,88	16,60	23,24
0,196	60	10,38	12,68	16,30
0,306	70	8,63	10,20	12,40
0,466	80	7,30	8,41	10,00
0,690	90	6,36	7,21	8,32
1,000	100	5,59	6,24	7,08

Le volume de la pompe à air est le $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{16}$ environ du volume du cylindre suivant qu'elle est à simple ou à double effet.

2° Condensation à surface. — Employée dans les machines de bateau ou quand l'eau est calcaire.

Surface des tubes = 15 à 20 fois surface de la grille.

Dimensions et régime d'une machine d'une puissance donnée

La vapeur d'échappement des machines sans condensation possède encore 75 à 80 % de sa chaleur. On peut l'utiliser pour activer le tirage ou pour chauffer l'eau d'alimentation.

$T_p = \frac{1}{K} T_u = \frac{1}{K} n.75, \qquad T_p = hC \times \frac{2N}{60}, \qquad T_p$ est donné

$h =$ pression moyenne sur le piston.

Vitesse du piston $\frac{2lN}{60}$

Dépense de vapeur par cheval et par heure :

$$Q = \frac{\delta}{H} \times \frac{270.000}{\left(1 + \text{log. hyp.} \frac{z}{z_0} - \frac{h'}{H} \times \frac{z}{z_0}\right)}$$

Il y a intérêt à avoir Q petit, et par suite $\frac{h'}{H}$ car $\frac{\delta}{H}$ est à peu près constant.

h sera déduit de l'épure tracée par comparaison avec celles des machines analogues = surface du diagramme divisée par la base.

Course du piston $= l$.

S = surface du diagramme au-dessus de la contre-pression h'.

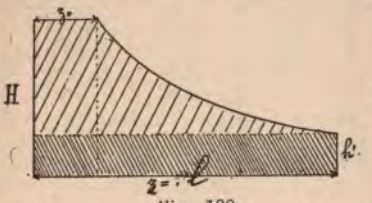


Fig. 188

$$h = \frac{S}{l}$$

On prend

$$l = 1{,}5 \times D$$

La dépense de vapeur peut varier de 30 à 7 kil. par heure et par cheval de travail utile.

La dépense de charbon dans les machines perfectionnées se rapproche de 1 kil. par heure et par cheval utile.

Machines à deux cylindres, système Woolf.

1er *Cas.* — La vapeur agit à pleine pression dans le petit cylindre et se détend seulement dans le grand cylindre.

Détente : $\frac{z}{z_0} = \frac{c}{c'}$

c' = volume du petit cylindre.
c = volume du grand cylindre.

2e *Cas.* — La vapeur agit dans le petit cylindre à pleine pression et à détente.

Détente : $\frac{z}{z_0} = \frac{c}{c'} \times \frac{z'}{z'_0}$

$\frac{z'}{z'_0}$ = détente dans le petit cylindre.

RENDEMENT DES MACHINES A VAPEUR,
OU VALEURS DE K,
POUR DES VITESSES DU PISTON = 1m PAR SECONDE

PUISSANCE	MACHINES sans condensation	MACHINES A CONDENSATION	
		à 1 cylindre	à 2 cylindres, système Woolf
2 à 5 chev.	0,60 à 0,66	» »	» »
6 à 12 »	0,67 à 0,72	0,60 à 0,65	0,50 à 0,55
15 à 25 »	0,73 à 0,77	0,66 à 0,70	0,56 à 0,60
30 à 50 »	0,78 à 0,82	0,71 à 0,75	0,61 à 0,65
60 à 100 »	0,83 à 0,85	0,76 à 0,78	0,66 à 0,68
100 à 200 »	» »	0,79 à 0,81	0,69 à 0,71

S'il s'agissait d'avoir le rendement des machines de 60 à 100 chevaux, *par exemple*, pour une vitesse de 2 mètres par seconde, il conviendrait de prendre le

rendement correspondant à la ligne située au-dessus, c'est-à-dire aux machines de 30 à 50 chevaux.

Détermination de la puissance d'une machine existante.

1° Par l'indicateur de Watt. — Cet appareil donne le travail transmis au piston. On installe l'indicateur à chaque extrémité du cylindre ou bien on se sert d'un indicateur à double robinet que l'on peut mettre à volonté en communication avec l'un ou l'autre bout du cylindre. On fait la moyenne des diagrammes pris à un bout et la moyenne de ceux pris à l'autre bout du cylindre, on multiplie la somme de ces deux moyennes exprimée en millimètres carrés par le nombre de tours de l'arbre, on a le travail par centimètre carré de surface du piston.

Il restera pour obtenir ce travail en kilogrammètres à multiplier ce résultat par un nombre représentant en kilogrammètres la valeur de 1 millimètre carré du diagramme.

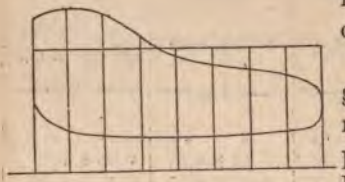


Fig. 189

La surface des diagrammes s'obtient au moyen de roulettes et planimètres ou bien par la méthode de Simpson.

Le papier quadrillé pourra également être employé pour cette évaluation.

On pourra encore opérer par le système des pesées si les diagrammes sont tracés sur du carton fort et homogène.

Les diagrammes ne servent pas uniquement à cal-

culer la puissance des machines, mais ils donnent aussi de précieux renseignements sur le fonctionnement et le réglage des appareils ainsi que sur la dépense de vapeur.

2° *Par le frein de Prony.* — Il donne le travail disponible sur l'arbre de couche. Ce travail est inférieur à celui transmis au piston déterminé par l'indicateur. Le rapport entre les deux est le rendement (voir le tableau précédent).

3° *Par le calcul direct :*

$$T_p = \frac{P.V.S}{75} = \frac{V \times S}{75} \times H \times \frac{z_0}{z}\left(1 + 2{,}3026 \log. \frac{z}{z_0} - \frac{h'}{H} \times \frac{z}{z_0}\right)$$

T_p = puissance nominale = travail de la vapeur sur le piston.

P = pression moyenne en kilogrammes par centimètre carré, déduction faite de la contrepression.

V = vitesse du piston par seconde.

S = section du cylindre en centimètres carrés.

P peut s'obtenir à l'aide du diagramme théorique dont l'aire totale divisée par la base fournit la pression moyenne.

P peut encore se calculer approximativement de la manière suivante :

Soit une pression initiale dans le cylindre = 5 kilogrammes (cette pression est égale à la pression absolue dans la chaudière multipliée par 0,80 environ) avec une détente au $\frac{1}{10}$.

Après le 1er dixième de course, la pression est de 5 kilogr.

» 2e » » » $\frac{5}{2}$ »

» 3e » » » $\frac{5}{3}$ »

. . . . . .

. . . . . .

» 10e » » » $\frac{5}{10}$ »

La pression moyenne est donc, en se reportant au diagramme théorique :

$$\frac{5}{10}\left(0{,}50+1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\ldots\ldots\frac{0{,}50}{10}\right)\text{ kilogrammes}$$
$$=0{,}5\times 3^{k},378=1^{k},69\text{ par centimètre carré}$$

On peut admettre une contrepression de 0k,15 pour les machines à condensation, et de 1k,2 pour les machines sans condensation :

$$V=\frac{2Nl}{60}$$

N = nombre de tours par minute.
l = course du piston.
Travail disponible sur l'arbre de couche :

$$T_u=KT_p.$$

Machines à deux cylindres, système Woolf.

P = pression moyenne dans le petit cylindre.
P' = » grand »
S = section en centimètres carrés du petit cylindre.
S' = » grand »
V = vitesse par seconde :

$$T_p=\frac{1}{75}(PS+P'S')\times V.$$

Le calcul se trouve simplifié si l'on remarque que le travail fourni par les deux cylindres est le même que si le grand cylindre fonctionnait seul après y avoir introduit la même quantité de vapeur dépensée qu'on laisserait s'y détendre ensuite.

Il suffira dès lors de calculer la pression moyenne dans le grand cylindre supposé seul, connaissant la pression au générateur et la détente qui dépend du rapport des deux cylindres.

Les machines de Woolf économisent beaucoup de combustible; elles augmentent la régularité de la marche. Le petit cylindre où la détente est faible est moins soumis à des causes de refroidissement que dans les machines à un cylindre.

Problème. — Déterminer la puissance disponible sur l'arbre d'une machine à condensation sachant que :

Diamètre du piston $= 0^{m},65$.
Course du piston $= 1^{m},30$.
Nombre de tours par minute $= 36$.
Fraction normale de détente $= \frac{1}{15}$
Pression de la vapeur $= 5$ kilogrammes (sur le piston).
Pression au condenseur $= 0^{k},10$.
Rendement $= 0,80$.

1° *Formule approchée* :

$$T_u = 0,80 \times \frac{P \times V \times S}{75}$$

$$P = \frac{5}{15}\left(0,50 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \ldots \frac{0,50}{15}\right) - 0^{k},10 = 1^{k},17 = \text{pression moyenne}$$

$$V = \frac{2 \times 36 \times 1,30}{60} = 1^{m},56$$

$$S = \frac{\pi \times 65^{2}}{4} = 3317 \text{ centimètres carrés}$$

$$T_u = 0,80 \times \frac{1,17 \times 1,56 \times 3317}{75} = 64^{\text{chev.}},5.$$

2° *Formule logarithmique* :

$$T_u = K \frac{\pi D^{2}}{4} \times l \times \frac{2N}{60} \times H \times \frac{z_0}{z}\left[1 + 2,3026 \times \log.\frac{z}{z_0} - \frac{h'}{H} \times \frac{z}{z_0}\right]$$

$$\log.\frac{z}{z_0} = \log. 15 = 1,1760913$$

$$T_u = 0,80 \times 0^{m^2},3317 \times 1,56 \times 50.000^{k} \times$$

$$\times \frac{1}{15}\left(1 + 2,3026 \times 1,176 - \frac{0,1}{5} \times 15\right) = 4.706 \text{ kgm.}$$

En chevaux :

$$\frac{4.706}{75} = 62^{\text{chev.}},7.$$

Nota. — Dans les machines fixes et les locomobiles, la pression de la vapeur sur le piston varie de 0,80 à 0,95 de celle de la chaudière. Dans les locomotives à grande vitesse elle est de 0,65 celle de la chaudière.

La pression de la vapeur en fin de course doit être prise égale à la contre pression augmentée de $\frac{1}{4}$ au moins.

Cette pression atteint 0 atm.,30 pour les machines à condensation et 1 atm.,25 à 1 atm.,50 pour les machines à haute pression sans condensation.

Application aux locomotives.

Une locomotive comprend deux cylindres de 0,30 de diamètre et de 0,50 de course. La vapeur qui mesure à la chaudière 8 atmosphères agit en pleine pression jusqu'aux $\frac{4}{5}$ de la course. On demande la puissance disponible de cette locomotive, sachant que le diamètre de ses roues motrices est de $1^{m},50$ et qu'elle marche à 60 kilom. à l'heure. Le rendement sera supposé $= 0,85$.

La formule générale donnera pour les 2 cylindres :

$$T = 2 \times 0,85 \times \frac{3,14 \times 0,30^2}{4} \times 0,50 \times 2 \times \frac{60.000}{3,14 \times 1,50 \times 3600} \times$$

$$\times 5,20 \times 10.330^k \times \frac{4}{5} \times \left(1 + 2,3026 \log. 1,25 - \frac{1,5}{5,2} \times \frac{5}{4}\right)$$

$$= \frac{15.706\,k^{\text{tres}}}{75} = 209 \text{ chevaux.}$$

On a pris comme pression sur les cylindres :

$$0,65 \times 8^{\text{atm.}} = 5^{\text{atm.}},20$$

et comme pression à la fin de la course 1 atm.,50 au lieu de 1 atmosphère.

Frein de Prony

Sert à déterminer le travail transmis par un moteur à un arbre de couche d'une machine.

On observe l'allure moyenne qu'il convient de donner au moteur pour que l'usine fonctionne convenablement, les machines-outils étant en marche. Puis on débraye ces machines-outils et on installe le frein.

L'arbre de couche tend à s'emporter jusqu'à ce que, par le serrage des écrous des boulons et l'addition de poids dans le plateau on développe un travail résistant équilibrant le travail disponible sur l'arbre de couche, l'allure moyenne étant conservée.

L'horizontalité du levier est nécessaire, aussi limite-t-on l'amplitude des oscillations par deux taquets. La vitesse de l'arbre doit être maintenue la même du commencement à la fin de l'opération.

Travail disponible sur l'arbre :

$$T = 2\pi L \times (P + Q)\frac{n}{60}.$$

n = nombre de tours de l'arbre à la minute.
P = poids ajouté dans le plateau.
Q = poids du levier obtenu de la manière suivante :

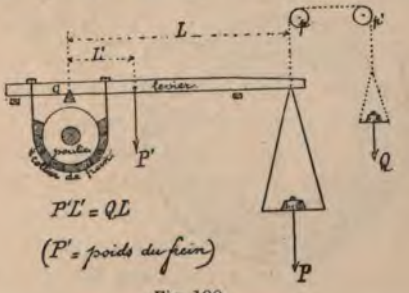


Fig. 190

Avant l'opération on fait reposer le levier sur un

couteau C dont l'arête est bien sur la verticale de l'axe de rotation. On attache l'extrémité du levier à une corde qui passe sur deux poulies p, p' et se termine par un plateau de poids connu. On a, l'horizontalité du levier étant obtenue, Q = poids du plateau auxiliaire et de sa charge.

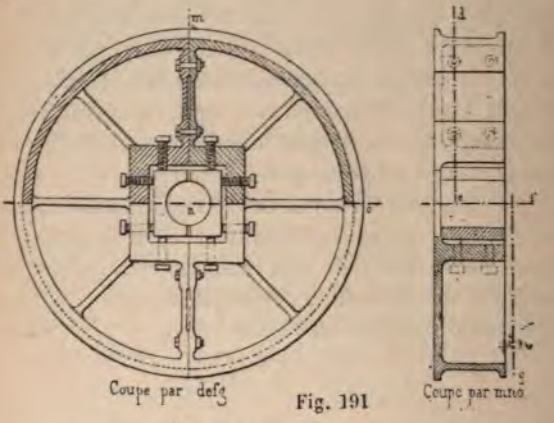


Fig. 191

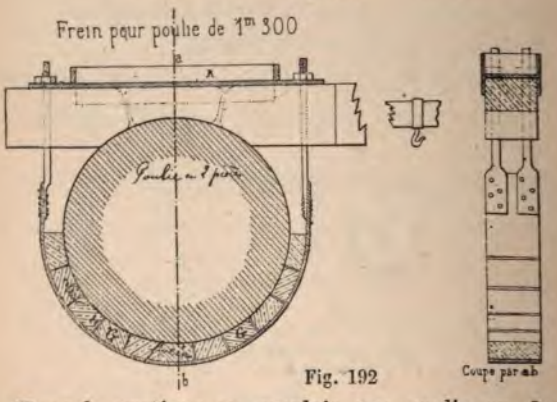


Fig. 192

Dans la pratique on emploie une poulie en deux pièces assemblées au moyen de boulons, portant un

moyeu carré au centre duquel se trouvent des coussinets dont on règle le contact à l'aide de vis. La poulie est enveloppée par le frein proprement dit composé d'une bande de fer portant une garniture en bois G (croquis fig. 191 et 192).

On prévient l'échauffement, en faisant usage d'un réservoir R, qui contient de l'eau ou de la graisse.

Pour avoir le même bras de levier, on termine celui-ci par un cadran tracé du centre de l'arbre comme centre. Sur ce cadran s'enroule une chaîne à laquelle est suspendu le plateau destiné à recevoir les poids P.

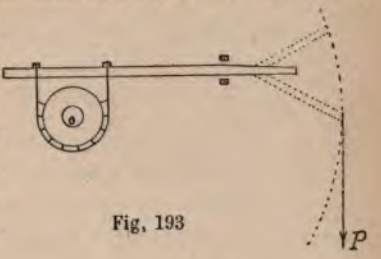


Fig. 193

Si l'on doit opérer sur un arbre vertical on fera usage d'une poulie verticale sur laquelle passera une chaîne fixée à l'extrémité du levier et qui soutiendra la charge P.

La quantité de travail absorbé par une machine-outils se déterminera en embrayant seule, à l'arbre de couche, cette machine. On observera l'allure moyenne qu'il convient de donner au moteur, puis on opérera comme ci-dessus avec le frein de Prony, en ayant soin de maintenir la vitesse et la même allure que quand toutes les machines-outils sont en marche.

Il est clair que le travail absorbé par la machine-outils ajouté à celui absorbé par le frein sera égal au travail total disponible sur l'arbre et déterminé à l'origine ; la différence entre ces deux résultats donnés par le frein représente le travail cherché absorbé par la machine-outils.

En opérant de même après avoir embrayé deux, trois machines-outils, on obtiendra le travail nécessaire pour faire marcher les deux, trois machines-outils.

Freins divers. — Frein dynamométrique de Kretz. — Pandynamomètre de Hirn.

ORGANES
DES
TRANSMISSIONS DE MOUVEMENT

Arbres.

ARBRES MOTEURS SOUMIS A LA TORSION :

$$d = K\sqrt[3]{\frac{F}{n}}$$

d = diamètre en centimètres.

K = coefficient = 16 pour les arbres en fer, 19 pour ceux en fonte et 36 pour ceux en bois.

F = nombre de chevaux développés sur le piston.

n = nombre de tours de l'arbre par minute.

Tourillons.

$$d = K\sqrt{P}$$

P = charge transmise par l'arbre à son palier.

K = 0,15 pour le fer et 0,20 pour la fonte.

d = diamètre en centimètres.

Volants.

$$PV^2 = K.\frac{m.F}{n}$$

P = poids de l'anneau du volant.

V = vitesse de sa circonférence moyenne.

m = nombre variable suivant la régularité à obtenir, = 32 pour les cas ordinaires, = 60 au maximum pour les machines de filature, où une très grande régularité est nécessaire.

F = force en chevaux de la machine.
n = nombre de tours du volant par minute.
K = coefficient donné par le tableau ci-dessous :

DÉSIGNATION DES MACHINES	VALEURS de K (Morin)
A pleine pression, avec ou sans condensation, sans balancier, bielle égale à 5 fois la manivelle	5.592
A un seul cylindre, à 5 atmosphères, à détente et condensation, sans balancier, détente commençant au $\frac{1}{5}$ de la course.	6.665
A pleine pression, sans balancier et avec bielle égale à 5 fois la manivelle :	
Manivelle simple	5.592
Manivelles doubles à angle droit. . . .	1,531
Manivelles triples à angles égaux. . . .	416
A détente et condensation, sans balancier, à 5 atmosphères, bielle égale à 5 fois la manivelle, détente au $\frac{1}{5}$:	
Manivelle simple	7.619
Manivelles doubles à angle droit. . . .	1.819
Manivelles triples à angles égaux. . . .	657

DIAMÈTRES DES VOLANTS :

De 3 à 4 fois la course du piston.

Des Courroies.

On donne le travail qui devra être transmis par la courroie. Ce travail, divisé par la vitesse que devra avoir la circonférence de la poulie, donnera l'effort Q qui devra être transmis par la courroie.

$$Q = T - :$$

T = tension du brin conducteur.

t = tension du brin conduit.

La plus petite valeur de la tension $t = \frac{Q}{K - 1}$ (K = coefficient que l'on prendra dans le tableau suivant).

Pour tenir compte des variations dans la tension, on augmentera de $\frac{1}{10}$ la valeur de t trouvée par cette formule.

La plus grande des tensions $T = Q + t$. A l'état de repos, la tension naturelle de chaque brin $= \frac{T + t}{2}$

DIMENSIONS DES COURROIES :

$$T = e\,l\,R$$

e = épaisseur de la courroie.

l = largeur de la courroie.

R = tension qu'on ne doit pas dépasser par unité de surface, ou coefficient de sécurité qui varie de 0 kil. 22 (cuir de mouton) à 0 kil. 54 (cuir de vache ou de cheval) par millimètre carré.

Dans la pratique on prend souvent, en supposant la courroie enveloppant la $\frac{1}{2}$ circonférence de la poulie :

$$F = \frac{lV}{K}$$

F = puissance transmise en chevaux.

l = largeur de la courroie en mètres.

V = vitesse de la courroie en mètres.

K = 0,15 pour un arbre horizontal et 0,20 pour un arbre vertical.

(Voir le Tableau à la Résistance des matériaux pour la Résistance des courroies.)

Frottement d'une courroie ou d'une corde sur un cylindre fixe

$$T = Kt$$

T = effort capable de faire glisser une courroie ou une corde sur le cylindre.

t = résistance à vaincre ou tension du brin à entraîner.

K = Coefficient donné par le tableau suivant, tiré de l'*Aide-mémoire* du général Morin. Ce coefficient, comme on le voit, augmente rapidement avec le nombre de tours de la courroie ou corde, et il est indépendant de leur largeur.

RAPPORT de l'arc embrassé à la circonférence entière	VALEURS DE K			
	Courroies à l'état ordinaire		Cordes sur tambours ou treuils en bois	
	sur tambours en bois	sur poulies en fonte	bruts	polis
0,20	1,80	1,42	1,87	1,51
0,30	2,43	1,69	2,57	1,86
0,40	3,26	2,02	3,51	2,29
0,50	4,38	2,41	4,81	2,82
0,60	5,88	2,87	6,58	3,47
0,70	7,90	3,43	9,01	4,27
0,80	10,62	4,09	12,34	5,25
0,90	14,27	4,87	16,90	6,46
1,00	19,16	5,81	23,90	7,95
1,50	»	»	111,31	22,42
2,00	»	»	535,47	63,23
2,50	»	»	2.575,80	178,52

Application. — Quel effort doit exercer un tonnelier pour soutenir une pièce de vin qui, en glissant sur un plan incliné exerce sur chacun des brins de la corde qui la retient une tension de 500 kilogr., en supposant qu'il ait fait 2 tours de chaque brin autour d'un treuil à surface polie ?

$$t = \frac{T}{K} = \frac{500}{63,23} = 7^{k},9.$$

DES ENGRENAGES

(Extrait en partie de l'*Aide-Mémoire du général Morin*).

Tracé pratique des engrenages.

Une fois le pas de l'engrenage et les rayons c A, c' A des cercles primitifs déterminés, on portera sur chacun de ceux-ci, à partir du point A situé sur la ligne des centres, à droite et à gauche de ce point, la longueur du pas, ce qui déterminera les points B, B', D, D'.

Dents de la roue. — Par le premier point de division B' du cercle primitif c'A du pignon on mènera le rayon c' B' qui rencontrera le cercle o'A $= \frac{1}{2} c'$ A au point B". On joindra B" au premier point de division B du cercle primitif c A de la roue. Par le milieu de B B" on élèvera une perpendiculaire qui rencontrera la circonférence c A en un point M que l'on prendra comme centre de la face de la dent de la roue. De ce point on décrira un arc de cercle passant par B, B', B". Ce cercle de rayon M B que l'on substitue à l'épicycloïde servira à tracer les faces de toutes les dents de la roue.

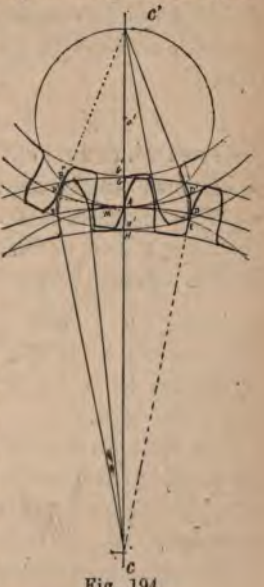


Fig. 194

Les dents de la roue seront limitées par la circonfé-

rence de rayon cB". Le flanc sera rectiligne et donné par le rayon cB.

Dents du pignon. — Elles se traceront d'une façon analogue.

Par le premier point de division D à droite de A, du cercle primitif cA de la roue, on mènera le rayon cD qui coupe le cercle oA $= \frac{1}{2}$ cA au point E. On joindra E au premier point de division D' à droite de A du cercle c'A du pignon. Par le milieu de ED' on élèvera une perpendiculaire qui rencontrera la circonférence c'A en un point que l'on prendra comme centre de la face de la dent du pignon.

Les dents du pignon seront limitées par la circonférence de rayon c'E. Le flanc est donné par le rayon c'D'.

Limite des dents à leur base. — Dents de la roue. — La circonférence c'E limitant les dents du pignon à la partie supérieure rencontre la ligne des centres en H'; on prendra H'H $= 0^m,004$ à $0^m,010$. La circonférence cH sera la limite des dents de la roue à leur base et donnera le creux des dents.

Dents du pignon. — De même, on prendra GG' $= 0,004$ à $0,010$. La circonférence c'G' sera la limite des dents du pignon à leur base et donnera le creux des dents.

Les dents de la roue et du pignon se termineront après avoir tracé leur épaisseur, en observant qu'elles sont symétriques par rapport aux rayons des cercles primitifs.

Des gabarits permettront de terminer la denture.

Modifications au tracé précédent. — Quand les roues n'ont pas des rayons très différents et que le

dents ne doivent pas être très épaisses, on peut prendre le rayon du cercle donnant la face des dents égal à la corde du pas ou bien aux $\frac{3}{4}$ de cette corde.

Si les dents se trouvaient trop minces vers le bout et réduites à la moitié de leur épaisseur à la naissance, il conviendrait de recommencer le tracé en prenant les arcs A B' et A D décrits pendant la durée du contact, égaux aux $\frac{3}{4}$ ou à $\frac{1}{2}$ du pas. On opèrera ensuite comme il a été dit. Mais dans ce tracé il n'y a qu'une dent en prise à la fois.

Inversement, si les dents sont trop courtes, l'on sera conduit à augmenter les contacts, et l'on prendra A B' et AD égaux à une fois et demie ou deux fois le pas. Le reste du tracé se fera comme précédemment.

Saillie des dents.— La saillie maxima sera une fois et demie l'épaisseur mesurée sur le cercle primitif.

Engrenages intérieurs.

Quand une roue mène un pignon placé à son intérieur, la courbe des dents de la roue et le flanc des dents du pignon se tracent comme précédemment.

La courbe des dents du pignon se tracera au moyen d'un arc de cercle décrit de la naissance d'une dent comme centre avec un rayon égal à la corde du pas pris sur le cercle primitif du pignon.

Dans les cas ordinaires, où les efforts ne sont pas trop grands, on pourra ne faire engrener les dents qu'après la ligne des centres. Alors, on prendra sur les deux cercles primitifs, à partir de la ligne des centres, un arc égal à deux fois le pas, puis on opérera comme précédemment.

Si, par ce dernier tracé, on arrive à des dents trop

minces à l'extrémité, il conviendra de le recommencer en prenant, au lieu de deux fois le pas, des arcs égaux à une fois et demie le pas.

Construction pratique des dents d'une roue quand le profil des dents de l'autre roue est donné.

La forme des dents d'une roue étant déterminée, la forme des dents de l'autre roue doit être la surface enveloppe de la première. Si donc on trace la courbe d'une dent dans toutes les positions qu'elle occupe, en supposant que les cercles roulent l'un sur l'autre, la suite des intersections de ces courbes formera le profil de la dent de la seconde roue.

Le procédé suivant, indiqué par Poncelet, est basé sur ce que la normale, au point de contact des dents, passe toujours par le point de contact des circonférences primitives.

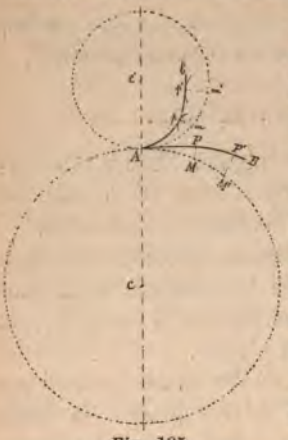


Fig. 195

Soit AB le profil des dents de la roue *c;* il s'agit de tracer le profil A*b* des dents de la roue *c'*.

Par des points M, M', on mènera les perpendiculaires MP, M'P' à la courbe AB. On prendra les arcs A*m*, A*m'*, égaux respectivement à AM, AM', et on décrira des points *m*, *m'* comme centres, et avec MP, M'P' comme rayons, des arcs de cercle.

Le profil cherché A*b* sera la courbe tangente à ces arcs de cercle.

Engrenage a crémaillère

$$r = \frac{h}{2\pi}$$

r = rayon primitif du pignon qui actionne la crémaillère ;

h = hauteur dont on veut élever la crémaillère pour un tour de pignon.

Connaissant la résistance opposée par la crémaillère au pignon, on en déduira l'épaisseur de la dent du pignon, et par suite le pas p.

$$n = \frac{2\pi r}{p} = \text{nombre de dents du pignon.}$$

Dents du pignon. — Un fil, enroulé sur la circonférence du cercle primitif, permettra, en se déroulant, de tracer, à l'aide d'un style placé à son extrémité, la développante du cercle qui sera la courbe des faces de dents du pignon.

Les rayons formeront les flancs des dents.

Sur la ligne des contacts, à partir du point de tangence A, on portera une longueur AB égale au pas, et du centre c, on décrira la circonférence cB qui limitera la longueur des dents du pignon.

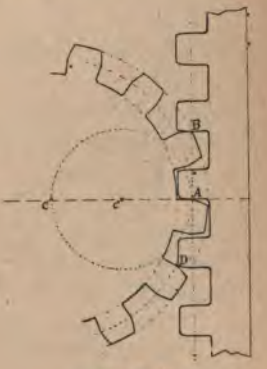


Fig. 196

Dents de la crémaillère. — De la naissance d'une des dents comme centre et le pas pour rayon, on décrira un arc qu'on limitera à sa rencontre en D avec le cercle c.

Si les dents sont trop minces pour pouvoir conduire

avant et après le point de contact à une distance égale au pas, on diminuera l'amplitude du contact, et on trouvera les rayons des courbes des dents comme pour les engrenages ordinaires.

Engrenages coniques

On donne le nombre de tours que devra faire chaque engrenage, ainsi que l'angle α formé par les deux axes de rotation.

Fig. 197

Il s'agira tout d'abord de tracer les cônes primitifs. On élèvera les perpendiculaires rq, st sur les deux axes de rotation, et on les prendra inversement proportionnelles aux nombres de tours. Les deux parallèles aux axes de rotation se couperont en A qui déterminera la génératrice commune des deux cônes.

L'un des rayons étant donné, l'autre sera déterminé par la relation :

$$R = nR'$$

R et R' = rayons primitifs des engrenages ;

n = rapport entre les nombres de tours.

On obtiendra par le calcul l'épaisseur et la longueur des dents, et on en déduira le pas p.

$\frac{2\pi R}{p}$ donnera un nombre fractionnaire; on prendra

le nombre entier inférieur le plus voisin, divisible à la fois par le nombre de bras de la roue et par le rapport du nombre de tours ou des vitesses n.

Alors

$$p = \frac{2\pi R}{m}$$

m = nombre de dents de la roue.

Nombre de dents du pignon $m' = \frac{m}{n}$.

On prendra Aa = largeur des dents.

La perpendiculaire en A à cA détermine deux surfaces coniques S, S'. Dans le développement de ces deux surfaces coniques, les deux cercles de bases sont tangents en A. On considère ces deux parties de cercles comme les cercles primitifs d'un engrenage plan que l'on tracera comme précédemment.

Puis on tracera, sur la surface de tête de la roue, les contours d'un gabarit en tôle découpé sur l'épure de l'engrenage plan.

On agira de même pour les surfaces intérieures qui ont pour bases ab, ab',

Il restera ensuite à joindre les points homologues des profils des dents ainsi tracés pour obtenir la denture.

Engrenages a développantes de cercle

Employés quand la roue doit conduire plusieurs pignons de diamètres différents.

Il conviendra d'abord de déterminer les cercles primitifs, l'épaisseur et la largeur des dents, ainsi que le pas.

Pour que les dents se conduisent avant et après la ligne des centres d'une quantité égale au pas, on portera sur le cercle primitif du pignon un arc

ab' = au pas, et on mènera le rayon $c'b'$. De a, on abaissera la perpendiculaire am sur $c'b'$, et de c on mènera une parallèle à $c'b'$. Des centres c, c', on décrira des cercles tangents à la ligne MN, et on enroulera sur ces circonférences un fil portant un style à l'extrémité. En déroulant le fil, le style tracera successivement les développantes qui détermineront les profils des dents. La circonférence cm limitera les dents de la roue.

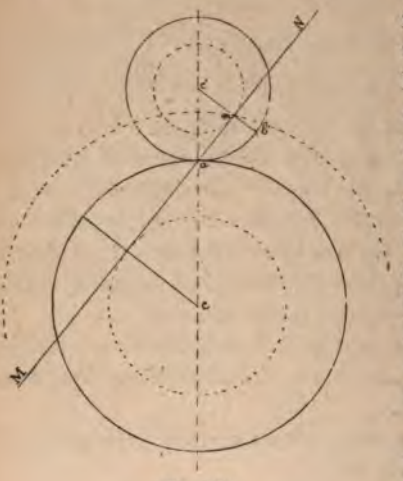


Fig. 198

Les dents du pignon seront limitées par la circonférence décrite de c' comme centre avec un rayon égal à la ligne joignant c' au point où la courbe de la dent du pignon, située à un pas de a, rencontre la ligne MN.

Les flancs seront formés par des rayons tangents à la naissance des dents.

Si les dents se trouvaient être trop minces, il faudrait recommencer le tracé en s'imposant la condition de ne faire agir les dents qu'à une distance $= \frac{3}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ du pas de la ligne des centres.

Le tracé des développantes s'applique également aux engrenages coniques.

Vis sans fin conduisant un pignon

L'épaisseur des dents et le pas se détermineront d'après l'effort à transmettre.

Le pas de la vis à la circonférence primitive = pas de l'engrenage ; le pignon marchera de une dent à chaque tour de la vis.

$$R = \frac{np}{2\pi}$$

R = rayon du cercle primitif du pignon.

n = nombre de tours que doit faire la vis pour un tour du pignon.

p = pas.

Le rayon du noyau de la vis

$$r = \frac{5}{2} \times p.$$

On tracera la ligne droite qui représente le cercle primitif de la vis ; c'est une parallèle à l'axe de la vis, à une distance de cet axe = $1{,}1 \times r$.

On retombera ensuite sur l'engrenage à crémaillère décrit précédemment.

Pour obtenir la surface gauche des dents du pignon, on fera au moyen de gabarits le tracé du profil des dents sur les deux faces de tête du pignon, puis on ploiera une ligne droite allant de l'extrémité d'une dent au point homologue de la dent précédente dans le sens du mouvement. On opèrera ainsi de proche en proche à mesure que l'on creusera les dents pour obtenir la surface gauche de la denture.

Tracés divers des engrenages : Epicycloïdes, Développantes de cercle, Arcs de cercle, Méthode Willis. M. Willis a fait établir, pour l'usage de sa méthode un instrument appelé odontographe, qui permet de tracer rapidement les courbes des dents.

Calcul des dents d'engrenage.

Fonte : $b = 0{,}105\sqrt{P}$

Bronze : $b = 0{,}131\sqrt{P}$

Bois : $b = 0{,}145\sqrt{P}$

$$a = \begin{cases} 4b \text{ pour une vitesse} < 1^{m},50 \text{ par seconde.} \\ 5b \quad \text{»} \quad > 1^{m},50 \quad \text{»} \\ 6b \text{ pour un engrenage mouillé d'eau.} \end{cases}$$

$h = 1{,}5\ b$ maximum.

b = épaisseur des dents mesurée sur la circonférence primitive.

P = effort que doit supporter une dent = travail qu'une roue doit transmettre divisé par la vitesse de la circonférence de son cercle primitif.

a = largeur des dents parallèlement à l'axe de la roue.

h = hauteur des dents.

Creux des dents mesuré sur la circonférence primitive :

$\left(1 + \frac{1}{15}\right)b$, pour des roues très bien exécutées.

$\left(1 + \frac{1}{10}\right)b$, pour des dents non retaillées.

Pas = Somme de l'épaisseur d'une dent et du creux = distance de 2 dents d'axe en axe.

Application. Une roue d'engrenage doit conduire un pignon auquel elle fera faire quatre tours pendant qu'elle en fera un ; la distance des centres est de 3 mètres, la quantité de travail que la roue doit transmettre est de 1.025 kilogrammètres par seconde, et elle fait huit tours par minute.

$$R = \frac{n\,d}{n+1} \qquad R' = \frac{d}{n+1}$$

R = rayon primitif de la roue.

R' = rayon primitif du pignon.

n = nombre de tours que le pignon doit faire pour un tour de la roue.

d = distance des centres de la roue et du pignon,

$$R = \frac{4 \times 3}{5} = 2^{m},40$$

$$R' = \frac{3}{5} = 0,60$$

Vitesse par seconde de la circonférence de la roue :

$$V = \frac{2 \pi R \times 8}{60} = 2^{m},01$$

Effort qui doit être exercé par les dents :

$$= \frac{1.025}{2,01} = 510 \text{ kil.}$$

Pas : 1° les dents de la roue et du pignon sont de même matière :

$$p = 2,1\ b \quad \text{ou} \quad 2,067\ b$$

b = épaisseur de la dent.

2° les dents sont de matières différentes ;

$$p = b + 1,10\ b' \quad \text{ou} \quad = b + 1,067\ b'$$

b = épaisseur de la dent de la roue.

b' = épaisseur de la dent du pignon.

CALCUL DE b ET b'.

Si la roue et le pignon sont de même matière, l'épaisseur commune des dents de la roue et du pignon sera :

pour le bois dur : $0,145 \sqrt{510} = 3\text{cm.},23$

pour la fonte : $0,105 \sqrt{510} = 2,37$

Si la roue est en bois et le pignon en fonte :

$$p = b + 1{,}10\,b' \quad \text{ou} \quad b + 1{,}067\,b'$$

L'engrenage étant supposé exécuté avec soin :

$$p = b + 1{,}067\,b' = 5\text{cm}.76$$

CALCUL DU NOMBRE DE DENTS.

$$\text{Roue} = \frac{2\,\pi\,R}{p} = \frac{15{,}10}{0{,}0576} = 262.$$

Si la roue doit avoir 8 bras, on prendra un nombre inférieur à 262 divisible à la fois par 8 et par $n = 4$; ce nombre est 256

$$\text{Pignon} = \frac{256}{4} = 64$$

Le nouveau pas correspondant sera :

$$p = \frac{15{,}10}{256} = 5\text{ cm},9$$

Frottement dans les engrenages.

$$T_f = \frac{1}{3}\,n\,f\,Q\,\frac{m + m'}{m \times m'} \times r$$

T_f = Travail absorbé par le frottement en une seconde.

n = nombre de tours de la roue conduite en une minute.

f = coefficient de frottement des dents en contact.

Q = Effort moyen transmis à la roue conduite.

m et m' = nombres de dents des roues.

r = rayon du cercle primitif de la roue conduite.

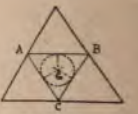
Application. — Calculer le travail absorbé par le frottement d'une roue et d'un pignon à dents en fonte graissées, sachant que la roue a 200 dents et le pignon 50, que l'effort moyen transmis au pignon est de 300 kilogrammes, le nombre de tours de ce pignon de 60 par minute et le rayon de son cercle primitif de 0,55 ?

$$T_f = \frac{1}{3} 60 \times 0{,}09 \times 300 \times \frac{250}{200 \times 50} \times 0{,}55 = 7 \text{ kgm. } 43.$$

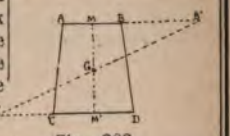
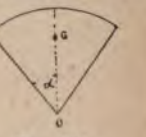
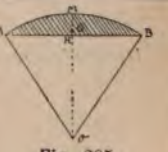
MÉCANIQUE

Centres de gravité

1° CENTRES DE GRAVITÉ DES LIGNES

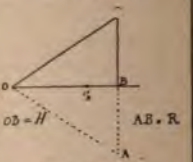
DÉSIGNATION des figures et des corps	POSITION du centre de gravité	RENSEIGNEMENTS divers
Triangle	On joint les milieux A, B, C des côtés du triangle, le centre de gravité est le centre du cercle inscrit dans le triangle A B C.	 Fig. 200.
Arc de cercle AMB	$OG = \frac{R \sin \alpha}{\alpha}$	
Demi-circonférence	$\sin \alpha = 1,\ \alpha = \frac{\pi}{2}$ $OG = \frac{2R}{\pi}$	Fig. 201
Problème. — Trouver la surface engendrée par une demi-circonférence tournant autour de son diamètre	Le théorème de Guldin donne : $S = \pi R \times 2\pi \times OG$ $= \pi R \times 2\pi \times \frac{2R}{\pi}$ $= 4\ \pi R^2$ = surf. de la sphère	

2° CENTRES DE GRAVITÉ DES SURFACES PLANES.

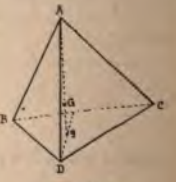
DÉSIGNATION des figures et des corps	POSITION du centre de gravité	RENSEIGNEMENTS divers
Triangle	Le centre de gravité se trouve à la rencontre des médianes $MG = 1/3\ AM$ Le point G est aussi le centre de gravité de trois masses égales qui seraient situées aux trois sommets A, B, C.	 Fig. 202.
Trapèze	Il se trouve sur la médiane MM' des deux bases, à sa rencontre avec la ligne C'B' telle que BB' égale la grande base et CC' la petite base.	BB' = CD, CC' = AB  Fig. 203.
Secteur circulaire	$OG = \frac{2}{3} R \frac{\sin \alpha}{\alpha}$	
Demi-cercle	$\alpha = \frac{\pi}{2}$ $OG = \frac{4}{3} \times \frac{R}{\pi}$	Fig. 204.
Problème. — Trouver le volume engendré par un demi-cercle tournant autour de son diamètre.	Le théorème de Guldin donne : $V = \frac{\pi R^2}{2} \times 2\pi \times \frac{4}{3} \times \frac{R}{\pi}$ $= \frac{4}{3} \pi R^3 =$ vol. de la sphère	
Segment circulaire	En prenant les moments par rapport à o : Secteur $\times$ $^2/_3$ R $\frac{\sin \alpha}{\alpha}$ — Triangle $\times$ $^2/_3$ OH = Segment $\times$ OG, d'où OG.	 Fig. 205.

DÉSIGNATION des figures et des corps	POSITION du centre de gravité	RENSEIGNEMENTS divers
Segment parabolique	$OG = \frac{3}{5}x$	$OA = x \quad AB = y$ Fig. 206.

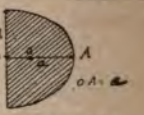
3° CENTRES DE GRAVITÉ DES SURFACES DE RÉVOLUTION

Cône de révolution	$OG = \frac{2}{3}H$	 Fig. 207.
Zone sphérique à une ou deux bases	Il se trouve au milieu de sa hauteur	

4° CENTRES DE GRAVITÉ DES VOLUMES

Prisme	Le centre de gravité se trouve au milieu de la ligne joignant les centres de gravité des deux bases.	
Pyramide triangulaire	On prend g centre de gravité du triangle de la base, on joint ce point au sommet et on a : $Gg = 1/4\ Ag$ Le point G est aussi le centre de gravité des quatre masses égales qui seraient situées aux sommets A, B, C, D.	 Fig. 208.

DÉSIGNATION des figures et des corps	POSITION du centre de gravité	RENSEIGNEMENTS divers
Pyramide à base quelconque	Le centre de gravité se trouve au 1/4, à partir de la base, de la ligne qui joint le centre de gravité du polygone de base au sommet.	Fig. 209.
Tronc de pyramide	$\frac{x}{y} = \frac{B + 3b + 2\sqrt{Bb}}{b + 3B + 2\sqrt{Bb}}$	Grande base = B Petite base = b g et g' centres de gravité des deux bases. $Gg' = y$ $\quad Gg = x$
Cylindre	Le centre de gravité se trouve au milieu de la ligne joignant les centres de gravité des 2 bases.	
Cône.	Il se trouve au 1/4, à partir de la base, de la ligne joignant le centre de gravité de la base au sommet.	
Tronc de cône	Comme pour le tronc de pyramide.	
Secteur sphérique	On prend MN = 1/4 R, on décrit du centre O l'arc A' N B'. On prend ensuite le milieu de la flèche de cet arc G, qui est le centre de gravité cherché.	Fig. 210.
Demi-sphère.	En opérant de même que précédemment on arrive à trouver que : $OG = \frac{3}{8} R$	Fig. 211.

DÉSIGNATION des figures et des corps	POSITION du centre de gravité	RENSEIGNEMENTS divers
Demi-ellipsoïde de révolution	Engendré par la révolution du 1/4 d'ellipse tournant autour de l'axe OA. $OG = \frac{3}{8}a$ $OA = a$	 Fig. 212.
Segment de paraboloïde de révolution	$OG = \frac{2}{3}x$	Fig. 213.

Détermination du centre de gravité d'un corps quelconque

On suspend ce corps par un point à l'extrémité d'un fil. Le centre de gravité se trouve dans la direction de ce fil rendu vertical après équilibre. On suspend le corps par un autre point, et l'intersection des deux directions du fil de suspension est le centre de gravité.

Cas d'une surface plane irrégulière ou d'un prisme a base irrégulière

On découpe dans un morceau de carton la surface irrégulière de la base du prisme à une échelle déterminée. On cherche le centre de gravité du carton comme précédemment, en le suspendant successivement en deux points au moins. Le centre de gravité du carton représente celui de la surface plane ou la projection sur la base du centre de gravité du prisme.

Ce procédé rend quelquefois des services quand il

s'agit d'un emprunt de terres à profondeurs égales ou à peu près égales.

Application. — Trouver le poids et le centre de gravité d'une pièce d'un poids considérable.

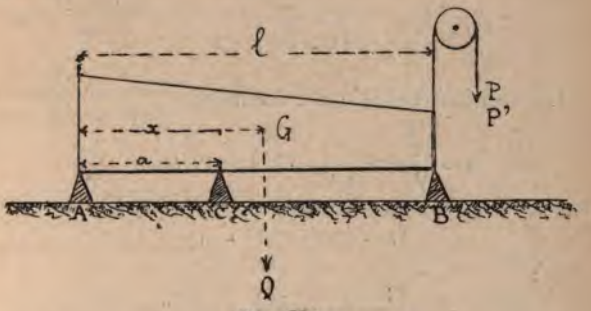


Fig. 214.

La pièce repose sur deux appuis A et B, situés près de ses extrémités.

On fait passer une corde fixée à l'extrémité sur une poulie, et on applique à l'extrémité de la corde un poids P juste suffisant pour faire lever la pièce au-dessus du support B.

Les forces P et Q se font alors équilibre et leurs moments par rapport à A sont égaux.

$$Q \times x = P \times l \text{ (Equation à 2 inconnues Q et } x).$$

On déplace le support A de A en C d'une quantité a, et l'on charge l'extrémité de la corde pour que la pièce se soulève au-dessus de B. Les moments par rapport à C sont égaux.

$$Q\,(x - a) = P'\,(l - a) \text{ (Equation à 2 inconnues Q et } x)$$

De ces deux équations, on déduira Q et x.

Exemple. — Trouver le poids et le centre de gravité d'une pièce de bois, sachant que sa longueur $l = 10$ mètres et que les poids P et P' nécessaires à l'équilibre pour un déplacement a de l'appui $= 1^{m},00$ sont :

$$P = 500 \text{ k.}$$
$$P' = 400 \text{ k.}$$

Les relations précédentes donnent :

$$x = \frac{Pl}{Q} \text{ et } Q\left(\frac{Pl}{Q} - a\right) = P'(l - a).$$

ou

$$Pl - Qa = P'(l - a)$$

d'où :

$$Q = \frac{Pl - P'(l - a)}{a} = 1400 \text{ k.}$$

$$x = 3 \text{ m. } 57.$$

Moments d'inertie

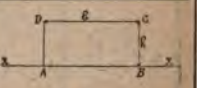
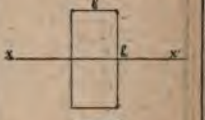
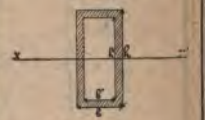
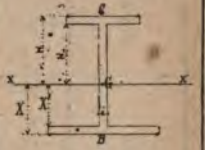
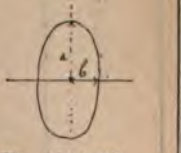
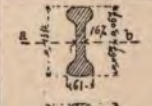
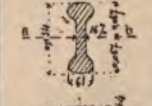
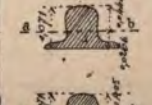
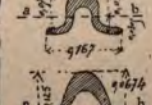
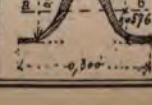
DÉSIGNATION des surfaces	EXPRESSION du moment d'inertie	FIGURES
Rectangle tournant autour de sa base . .	$I = \frac{1}{3} b h^3$	
Rectangle tournant autour d'une médiane .	$I = \frac{1}{12} b h^3$	
Rectangle évidé tournant autour d'une médiane.	$I = \frac{1}{12} (b h^3 - b' h'^3)$	
Double T à plates-bandes et cornières égales tournant autour d'un axe passant par son centre de gravité . .	$I = \frac{1}{12} (b h^3 - b' h'^3 - b'' h''^3 - b''' h'''^3)$ $b' = 2 b_0$ $b'' = 2 b_1$ $b''' = 2 b_2$	
Double T à plates-bandes inégales tournant autour d'un axe passant par son centre de gravité	$I = \frac{1}{3} B X^3 + \frac{1}{3} b x^3 - \frac{1}{3} (B' X'^3 + b' x'^3)$ $B' = B - e$ $b' = b - e$	
Cercle tournant autour d'un diamètre. .	$I = \frac{1}{4} \pi R^4$	
Ellipse tournant autour d'un axe . . .	$I = \frac{1}{4} \pi b a^3$	

Fig. 215 à 221.

DÉSIGNATION DES RAILS	SECTIONS	SURFACES	MOMENT D'INERTIE par rapport à un axe ab passant par le centre de grav. et parall. à la base (I)	$\frac{I}{V}$
		m²		
Rail champignon. (Poids du mètre courant = 37ᵏ fer. = 38ᵏ acier — Section pleine . .		0,004.887.36	0,000.009.966.827	0,000148.758.6
Rail champignon. (Poids du mètre courant = 37ᵏ fer. = 38ᵏ acier — Section percée . .		0,004.487.36	0,000.009.945.993	0,000148.447.6
Rail Brunel plein (Poids du mètre courant = 36 k.).		0,005.638.96	0,000.002.362.062	0,000053.147 0
Rail Brunel type français (poids du mètre courant = acier = 35 k. . . .		0,003 867.55	0,000.001.941.797	0,000047.992.4
Rail Barlow (Poids du mètre courant = 45 k.)		0,005.756.41	0,000.009.350.911	0,000138.739.4

Frottement de glissement.

LOIS DU FROTTEMENT DE GLISSEMENT.

1° Le frottement est proportionnel à la pression normale et indépendant de l'étendue des surfaces en contact s'il n'y a pas altération des surfaces.

$$\frac{F}{N} = \text{constante } f; \quad F = f\,N \quad (N = \text{pression normale})$$

$$f = \text{tg. } \alpha$$

2° Si la vitesse relative de deux corps n'est pas considérable, le frottement est indépendant de cette vitesse.

Pour les chemins de fer, la formule empirique suivante se rapproche assez des résultats de la pratique :

$$f = \frac{f_0}{1 + 0{,}03\ V} \qquad V = \text{vitesse relative.}$$

$f_0 = 0{,}31$ pour les rails très secs.
$= 0{,}22$ pour les rails secs.
$= 0{,}14$ pour les rails mouillés.

3° Le frottement dépend de la nature et de l'état des surfaces en contact.

4° Le frottement au départ est ordinairement plus grand que pendant le mouvement.

TABLEAU DU FROTTEMENT DES SURFACES PLANES ET DES TOURILLONS

SURFACES FROTTANTES	COEFFICIENT de frottement f	ANGLE correspondant α (tang. $\alpha = f$)
Bois sur bois à sec . . .	0,36	19°18'
Bois sur bois avec enduit gras.	0,07	4°
Bois sur métaux à sec. . .	0,42	22°47'
— avec enduit.	0,08	4°35'
Métaux sur métaux à sec. .	0,19	10°46'
— — avec enduit.	0,09	5°9'
Corde mouillée sur bois . .	0,33	18°16'
— graissée sur fonte . .	0,15	8°32'
Cuir sur bois ou métal à sec.	0,30	16°42'
— — avec enduit.	0,20	11°19'
Fer forgé sur pierre à sec. .	0,45	24°14'
Pierre sur bois.	0,40	21°48'
Pierre sur pierre	0,76	37°14'
Libage sur un lit d'argile sèche ou humide	0,51 à 0,40	27°1' à 21°48'
Tourillons.		
Tourillons de fer ou de fonte sur coussinets de fonte ou de bronze :		
1° Surfaces parfaitement enduites.	0,054	3°6'
2° Surfaces enduites . . .	0,07 à 0,08	4° à 4°35'
3° Surfaces peu enduites, sèches ou mouillées d'eau .	0,14 à 0,16	7°58' à 9°5'

Applications :

Problème 1. — Calculer l'effort nécessaire pour soulever une vanne en fonte de $2^m,50$ de largeur sur $0^m,40$ de hauteur, fermant un orifice de $0^m,35$ de hauteur et dont le milieu est immergé à $0^m,70$ au-dessous du niveau de l'eau.

On supposera que le poids propre de la vanne est équilibré par un contrepoids. L'appareil de manœuvre

n'aura donc à vaincre que le frottement de la vanne dans ses coulisses.

Surface pressée par l'eau

$$= 2{,}50 \times 0{,}40 = 1^{m2},00.$$

Pression totale

$$= 1 \times 0{,}70 \times 1000^{k} = 700^{k}$$

Frottement

$$= 0{,}19 \times 700 = 133^{k}.$$

Frottement des pivots

Problème 2. — Calculer le travail absorbé par le frottement du pivot d'un arbre vertical soumis à une pression totale de 4.000 kilogrammes, faisant 100 tours par minute, le diamètre du pivot en acier sur grain en acier étant de 0,06.

$$T_f = \frac{2}{3} \cdot f \cdot P \cdot \frac{\pi n}{60} \times d$$

$f = 0{,}09$, $P = 4000$, $n = 100$, $d = 0{,}06$

$T_f = 75\ k^{tres},36$ par seconde.

Il est d'une bonne pratique de terminer le pivot et la crapaudine par des surfaces convexes afin de diminuer le bras de levier du frottement qui est de $\frac{d}{2}$ quand les surfaces en contact sont planes.

Frottement des tourillons

Problème 3. — Calculer le travail absorbé par les tourillons en fer d'une roue hydraulique dont le rayon extérieur est de $4^{m},50$ et qui tourne sur des coussinets en bronze enduits de cambouis.

Les autres données sont les suivantes :

Travail transmis à la circonférence de la roue $= 4.500\ km^{tres}$.

Résistance de bas en haut opposée par le premier

pignon à l'effort vertical exercé par l'engrenage = 2.900 kilogrammes.

Poids de l'eau contenue dans les augets = 5.500 kilogrammes.

Poids de la roue hydraulique et de son équipage = 86.700 kilogrammes.

Vitesse à la circonférence de la roue = $2^{m},30$

Rayons des tourillons = 0,20.

La pression sur les tourillons est :

$$86.700^{k} + 5.500 - 2.900 = 89.300^{k}$$

Frottement des tourillons :

$$= 0,09 \times 89.300 = 8.037^{k}.$$

Chemin parcouru par la circonférence du tourillon en une seconde :

$$2^{m},30 \times \frac{0,20}{4,50} = 0^{m},102.$$

Travail consommé en une seconde :

$$8.037 \times 0,102 = 820^{k^{tres}} = 11 \text{ chevaux.}$$

Frottement sur un plan incliné

1° *Mouvement ascendant uniforme.*

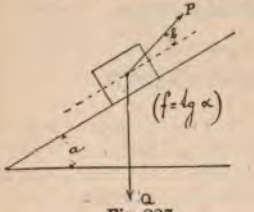


Fig. 227

Force capable de produire le mouvement de bas en haut.

$$P = \frac{\sin. a + f \cos. a}{\cos. b + f \sin. b} \times Q$$

$$= \frac{\sin.(a + \alpha)}{\cos.(b - \alpha)} \times Q$$

Si P est horizontale, $b = -a$:

$$P = \frac{\sin. a + f \cos. a}{\cos. a - f \sin. a} \times Q = \frac{\text{tg}. a + f}{1 - f \text{tg}. a} \times Q = Q \text{ tg}.(a + \alpha)$$

$$T_m = P \times l \times \cos. b$$

l = longueur parcourue sur le plan incliné :

$$T_u = Q l \sin a$$
$$T_f = T_m - T_u$$

T_f est maximum quand $b = o$, c'est-à-dire quand P est parallèle au plan incliné.

2° *Mouvement descendant.*

1er *cas* : — Le corps est sollicité par son poids seul.

L'effort qui tend à le faire descendre est :

$$F = Q \frac{\sin.(a - \alpha)}{\cos.\alpha}$$

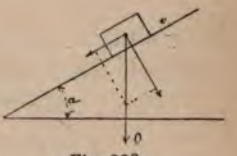


Fig. 228

Si $a = \alpha$, $F = o$, le corps descendra d'un mouvement uniforme, en vertu de la vitesse acquise.

Si $a > \alpha$, le corps descendra d'un mouvement uniformément accéléré avec une accélération :

$$j = g \times \frac{\sin.(a - \alpha)}{\cos.\alpha}$$

g = accélération de la pesanteur = 9,8088.

Si $a < \alpha$, F est négatif ; donc le corps restera en repos.

Dans le cas où le corps serait animé d'une vitesse initiale V, son mouvement serait uniformément retardé.

L'accélération de ce mouvement uniformément retardé sera $j = g \frac{\sin.(a - \alpha)}{\cos.\alpha}$ et le mouvement se continuera pendant un temps t tel que :

$$V = jt.$$

2e cas. — Mouvement descendant uniforme

$$P = \frac{\sin. a - f \cos. a}{\cos. b - f \sin. b} = Q.$$

Si $b = o$, c'est-à-dire si P agit parallèlement au plan :

$$P = \frac{\sin. (a - \alpha)}{\cos. \alpha} \times Q ;$$

C'est-à-dire que P = F du premier cas.

Frottement dans le cas du serrage des boulons

Mémoire de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. — 1894.

Serrage { Frottement supposé nul, $P = Q. \text{tang. } i.$
En tenant compte du frottement,
$P = Q \text{ tang. } (\alpha' + i).$

Desserrage : $P = Q \text{ tang. } (\alpha' - i).$

Pr = moment du couple de serrage dans un plan normal à l'axe.

P = effort de serrage appliqué à une distance r (rayon moyen du boulon) de l'axe.

Fig. 229

Q = tension suivant l'axe du boulon.

i = angle d'inclinaison de l'hélice sur le plan normal à l'axe.

$$\text{tang. } i = \frac{h}{2\pi r} \qquad (h = \text{pas de la vis})$$

$$\text{tang. } \alpha' = \frac{f}{\cos. \beta}$$

f = tang. α = coefficient de frottement de l'écrou sur le boulon.

β = angle de la génératrice du filet sur le plan normal à l'axe.

Le frottement de l'embase de l'écrou peut être sup-

posé égal au frottement proprement dit de la vis. L'effort nécessaire se trouve ainsi doublé.

Pour une vis à filets carrés :

$$\beta = 0$$
$$P = Q.\ \text{tang.}\ (\alpha + i)$$

L'effort P se trouve donc un peu plus petit dans la vis à filets carrés que dans la vis à filets triangulaires ($\alpha < \alpha'$).

Exemple :

$$f = 0{,}15, \quad i = 2°20', \quad \text{tang.}\ i = 0{,}04 \quad \beta = 30°.$$

1° Frottement supposé nul

$$P = Q.\ \text{tang.}\ i, \quad \text{ou} \quad P = 0{,}04\,Q.$$

2° En tenant compte du frottement :

$$P = Q.\ \text{tang.}\ (\alpha' + i)$$

Or

$$\text{tang.}\ \alpha' = \frac{0{,}15}{\cos. 30°} = 0{,}173, \quad \alpha' = 9°50'$$
$$P = Q.\ \text{tang.}\ 12°10' = 0{,}216 \times Q$$

3° Pour les vis à filets carrés :

$$P = Q.\ \text{tang.}\ (\alpha + i) = Q.\ \text{tang.}\ 10°50' = 0{,}19\,Q.$$

Le frottement a donc pour effet d'augmenter l'effort de serrage de cinq fois environ dans ce cas particulier. Pour les boulons de petit diamètre il est bon d'augmenter l'inclinaison i, afin de diminuer $\frac{Q}{P}$ et par suite leur fatigue pour une même valeur de P.

La hauteur de l'écrou doit être telle que la pression par millimètre carré ne dépasse pas 1 kilogramme.

Frottement de la vis a filets carrés et de son écrou.

1° *Mouvement ascendant* :

$$P = \frac{r}{R} \times \frac{h + 2\pi f r}{2\pi r - f h} \times Q$$

En posant :

$$\text{tg. } i = \frac{h}{2\pi r};$$

$$P = Q \times \frac{r}{R} \times \frac{\text{tg. } i + f}{1 - f \text{ tg. } i}$$

Si $i = 90° - \alpha$ ou tg. i = cotg. α, $P = \infty$, la vis ne remontera pas.

P = effort à exercer au bout d'un levier dont le bras = R.

r = rayon du filet moyen de la vis.

R = bras de levier de l'effort P.

h = pas de la vis.

i = inclinaison de l'hélice sur l'horizontale.

Q = pression à produire ou poids à soulever dans les vérins, par exemple.

f = coefficient de frottement = 0,10 pour les vis en bon état.

2° *Mouvement descendant* :

$$P = \frac{r}{R} \times \left(\frac{h - 2\pi f r}{2\pi r + f h}\right) \times Q = \frac{Qr}{R} \times \left(\frac{\text{tg. } i - f}{1 + f \text{ tg. } i}\right)$$

$$Q = \frac{PR}{r} \times \frac{1 + f \text{ tg. } i}{\text{tg. } i - f}$$

P étant supposé constant, si tg. $i = f$, $Q = \infty$; aucune valeur de la pression Q ne sera donc suffisante pour déterminer le mouvement de la vis ; il en sera de même, à fortiori, pour $i < \alpha$.

Q étant supposé constant, $P = o$ pour $i = \alpha$; un léger effort horizontal suffira pour desserrer la vis.

Frottement dans le treuil

$$P \times p = Q \times q + r \times f \times (R + R')$$

P = puissance.
p = bras de levier de la puissance.
Q = résistance.
q = bras de levier de la résistance.
r = rayon des tourillons.
f = coefficient de frottement des tourillons sur leurs coussinets.
R = réaction d'un coussinet.
R' = réaction de l'autre coussinet.

Cas particulier. — P et Q sont verticales.

$$R + R' = P + Q + \pi$$

π = poids du treuil.

$$P = \frac{Qq + rf(Q + \pi)}{p - rf}$$

Travail de la puissance pour 1 tour complet : $= 2\pi Pp$.
— résistance — $= 2\pi Qq$.

Frottement dans la vis sans fin.

1° La vis mène la roue.

i = angle de l'hélice moyenne du filet avec la section droite du cylindre.
α = angle de frottement.

$$\frac{\text{Puissance appliquée à la vis}}{\text{Résistance}} = \frac{P}{Q} = \text{tg.}\,(i + \alpha)$$

Il faut que $i < 90° - \alpha$

$$\frac{T_n}{T_m} = \frac{\text{tg. } i}{\text{tg.}\,(i + \alpha)}$$

2° La roue mène la vis

$$\frac{\text{Puissance appliquée à la roue}}{\text{Résistance}} = \frac{P}{Q} = \text{cotg. } (i - \alpha)$$

Il faut que $i > \alpha$

$$\frac{T_a}{T_m} = \frac{\text{tg. } (i - \alpha)}{\text{tg. } i}$$

Pour que l'engrenage soit réciproque, il faut :

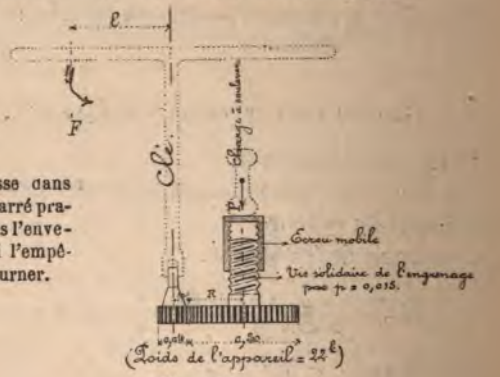
$$i > \alpha \quad \text{et} \quad i < 90° - \alpha$$

Condition remplie pour $i = 45°$.

Si la vis mène la roue comme dans les vannes, et que $i < \alpha$, la roue ne peut pas mener la vis. Dans ce cas, si l'homme lâche la manivelle, la vanne reste suspendue.

Application des vis et des engrenages aux outils.

Relève-voie ou vérin Westmeyer.



L'écrou passe dans un trou carré pratiqué dans l'enveloppe qui l'empêche de tourner.

Fig. 230

En négligeant le frottement, l'égalité entre le tra-

vail de la résistance P et celui de la puissance F, donnera pour un tour de clé ou du pignon r :

$$\frac{r}{R} \times p \times P = 2\pi l \times F$$

$$P = \frac{2\pi l FR}{rp}$$

Si l'on prend :

- P = charge qu'il s'agit de soulever.
- l = bras de levier de la puissance = 0,20.
- F = puissance = 30 kilogrammes. (Chaque main fait 1/2 F.)
- R = rayon de l'engrenage = 0,10
- r = rayon du pignon = 0,02
- p = pas de la vis = 0,015.

$$P = \frac{2 \times 3{,}1416 \times 0{,}20 \times 30 \times 0{,}10}{0{,}02 \times 0{,}015} = 12.566^{k}.$$

En admettant que les résistances passives absorbent $\frac{1}{3}$ de l'effort F, la charge deviendra :

$$P = \frac{2}{3} \times 12.566 = 8.377^{k}$$

(ce qui revient à supposer l'effet utile = 0,66)

Dans ce calcul, on a supposé que les différents organes étaient suffisamment forts pour résister à ces grandes charges.

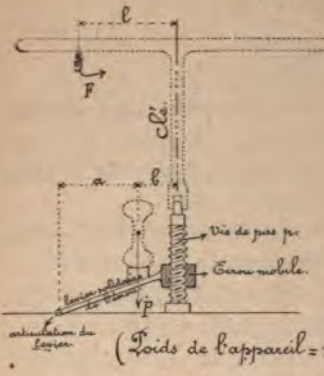
Relève-voie (système Garry).

En négligeant le frottement, l'égalité entre le travail de la puissance F et celui de la résistance P, donne pour un tour de clé :

$$2\pi l \times F = p \times \frac{a}{a+b} \times P$$

d'où l'on déduit la charge à soulever :

$$P = \frac{2\pi l F\ (a+b)}{p \times a}$$



Le levier se termine par une griffe le rendant solidaire de l'écrou, et l'empêchant de tourner.

Fig. 231

Si l'on se donne :

l = bras de levier de la puissance F = 0m,20.
F = puissance = 30 kilogrammes. (Chaque main fait 1/2 F.)
a = 0m,16 ; b = 0m,08 ; $\frac{a+b}{a} = \frac{3}{2}$.
p = pas de la vis, fixée au bâti : = 0,005.

$$P = \frac{2 \times 3{,}1416 \times 0{,}20 \times 30}{0{,}005} \times \frac{3}{2} = 11.310^{k}$$

En admettant que les résistances passives absorbent le $\frac{1}{3}$ de la puissance, ce qui revient à supposer l'effet utile = 0,66.

$$P = \frac{2}{3} \times 11.310^{k} = 7.540^{k}$$

Palans

$Q = nP$ (sans tenir compte des résistances passives.)

Q = poids soulevé accroché à la chape des poulies mobiles.

n = nombre de cordons qui soutiennent les poulies mobiles, non compris le garant ou celui sur lequel on agit, ou encore = nombre de poulies tant fixes que mobiles.

P = effort nécessaire pour soutenir le poids Q.

Le tableau de la page suivante tiré de l'aide-mémoire du général Morin tient compte de la raideur des cordes et des résistances passives ; il se rapporte aux palans présentant des dimensions usuelles.

Application. — Quel effort doit-on exercer sur le garant du palan n° 4, équipé à 8 brins avec une corde blanche de 0,018 de diamètre pour soulever un poids de 4.000 kilogrammes ?

$$P = 5{,}345 + 0{,}178 \times 4.000 = 717^{k}$$

Si l'on n'avait pas tenu compte des résistances passives.

$$P = \frac{4.000}{8} = 500^{k} \text{ seulement.}$$

NUMÉROS des palans	DIAMÈTRE des cordes	PALANS ÉQUIPÉS AVEC DES CORDES		NOMBRE de cordes (n)	RAYON MOYEN des poulies y compris le demi-diamètre de la corde
		blanches	goudronnées		
1	0,008	$P = 0{,}6311 + 0{,}3122 \times Q$	»	4	0,020
2	0,012	$P = 1{,}959 + 0{,}2273 \times Q$	$P = 3{,}003 + 0{,}2344 \times Q$	6	0,036
3	0,015	$P = 2{,}68 + 0{,}2172 \times Q$	$P = 4{,}469 + 0{,}224 \times Q$	6	0,0575
4	0,018	$P = 5{,}345 + 0{,}1780 \times Q$	$P = 8.568 + 0{,}1852 \times Q$	8	0,0690
5	0,020	$P = 6{,}810 + 0{,}1825 \times Q$	»	8	0,0850
6	0,030	$P = 11{,}17 + 0{,}3350 \times Q$	»	4	0,1150

FROTTEMENT DE ROULEMENT

TIRAGE DES VOITURES

NATURE DU TERRAIN (supposé horizontal)	RAPPORT du tirage à la charge
Argileux	0,250
Siliceux	0,105
Ferme, battu et uni	0,040
Empierrement parfait	0,033
Chaussée empierrée ordinaire :	
1° Voiture suspendue au pas	0,030
2° Voiture suspendue au grand trot	0,070
Chemin de fer à ornière saillante en bon état	0,007

Au démarrage la résistance est 4 à 5 fois plus grande que pendant la marche.

Résistance des trains de chemins de fer

1° RÉSISTANCES PROPRES DU TRAIN REMORQUÉ

(non compris la machine et son tender).

Résistance due aux vitesses seules.

Formules pratiques donnant la résistance par tonne des trains marchant sur une voie en palier et à courbes de grands rayons.

		Résistance moyenne
Trains de marchandises marchant à des vitesses de 12 à 32 kilomètres à l'heure	$R = 1^k,65 + 0^k,05\ V$ (Graissage — Emploi de l'huile) ; $R = 2^k,30 + 0^k,05V$ (Graissage — Emploi de la graisse)	3 à 4^k
Trains de voyageurs — 32 à 50 km	$R = 1,80 + 0,08\ V + \frac{0,009\ S.V^2}{P}$	4 à 7^k
Trains de voyageurs — 50 à 65 km	$R = 1,80 + 0,08\ V + \frac{0,006\ S.V^2}{P}$	7 à 8^k
Trains de voyageurs — 70 à 100 km	$R = 1,80 + 0,14\ V + \frac{0,004\ S.V^2}{P}$	8 à 20^k

S = section de face du train = 5 mètres carrés environ.

P = poids du train en tonnes.

Résistance due aux rampes seules.

Chaque millimètre de rampe correspond à une résistance de 1 kilogramme par tonne en plus de la résistance précédente en palier.

Résistance due aux courbes seules.

Pour une courbe de 300 mètres de rayon, cette résistance = 4 kilogrammes par tonne. Elle diminue de 1 kilogramme pour chaque 100 mètres de rayon en plus.

2° Résistances propres de la locomotive
(y compris son tender)

GENRE de locomotive	VITESSE à l'heure	RÉSISTANCE due à la vitesse par tonne
1 essieu moteur. .	60 km.	8 k.
2 — . .	45	9 k.
3 — . .	30	12 k.
4 — . .	15	19 k.

Les résistances dues aux rampes et aux courbes se détermineront comme pour les véhicules.

Adhérence. — L'adhérence ou frottement de glissement des roues motrices doit être supérieure à l'ensemble des résistances au roulement pour qu'il n'y ait pas patinage.

$$T < \frac{1}{n} P$$

T = résistance totale du train à la traction.

P = poids adhérent de la locomotive ou charge des essieux moteurs.

$\frac{1}{n}$ = coefficient d'adhérence variable de $\frac{1}{5}$ (rails très secs) à $\frac{1}{14}$ (brouillard épais).

Equation de la locomotive

$$T = 0{,}65\, p\, \frac{d^2 l}{D}$$

T = résistance totale du train à la traction.

p = pression maximum de la vapeur dans la chaudière.

d = diamètre des cylindres.

l = course du piston.

D = diamètre des roues motrices.

Si V = vitesse en mètres par seconde.

Force en chevaux-vapeur d'une locomotive = $\frac{VT}{75}$:

Machine d'express. . . . . = 500 chevaux environ
» à 10 roues accouplées = 620 »

Application à un train de marchandises.

Une machine à quatre essieux accouplés pesant 45 tonnes doit remorquer des wagons chargés de houille sur un chemin de fer où il existe des courbes de 300 mètres de rayon et des déclivités de 20 millimètres par mètre. On demande quel est le nombre maximum de wagons que cette machine pourra traîner ?

Poids adhérent de la machine = 45 tonnes, toutes les roues étant accouplées. (Ce poids adhérent n'étant que la charge des essieux moteurs est généralement plus petit que le poids total de la machine.)

Effort de traction maximum

$$= \frac{1}{6} \times 45^{T} = 7^{T},5 \left(\frac{1}{n} \text{ étant supposé} = \frac{1}{6} \right)$$

Résistances propres de la locomotive :

1° Due à la vitesse = 19ᵏ (tableau précédent)
2° Due aux rampes = 20
3° Due aux courbes = 4
Total . = 43ᵏ par tonne.

Résistance totale = 43ᵏ × 45 = 3.150ᵏ.

Résistance maximum que doivent présenter les wagons de houille

$$= 7.500^{k} - 3.150 = 4.350^{k}$$

Or, un wagons pèse :

A vide, poids mort . . = 4.500ᵏ
Poids maxima de houille = 10.000 } = 14.500ᵏ

Résistance propre de chaque wagon :

1° Due à la vitesse = 4ᵏ
2° Due aux rampes = 20
3° Due aux courbes = 4
Total. . = 28ᵏ par tonne.

Résistance totale par wagon = 28ᵏ × 14,5 = 406ᵏ.

Le nombre maximum de wagons cherché sera :

$$\frac{4.350^{k}}{406} = 10 \text{ en nombre rond.}$$

Démarrage.

Résistance à la traction :

Trains de marchandises = 13ᵏ par tonne environ.
» de voyageurs = 22ᵏ » »

INFLUENCE DU VENT

A la suite de l'accident de Fitou (décembre 1867) des études furent faites sur la résistance des trains au vent.

TABLEAU INDIQUANT LE CHARGEMENT NÉCESSAIRE POUR ASSURER LA STABILITÉ DES VOITURES (Cie DU MIDI), SOUS UNE PRESSION DE VENT DE 250k PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE LONGITUDINALE.

DÉSIGNATION des véhicules	POIDS vide de chaque véhicule	MINIMUM des charges de chaque véhicule pour résister au vent	CHARGEMENT minimum pour assurer la stabilité
Voiture de 1re classe .	6.000 k.	7.405 k.	1.405 k.
— mixte . . .	6.280	8.968	2.688
— de 2e classe .	5.600	6.900	1.300
— de 3e classe .	6.020	8.250	2.230
Fourgon à bagages. .	5.500	7.380	1.880

PASSAGE DES ROUES DES VÉHICULES SUR LES CHANGEMENTS ET TRAVERSÉES DE VOIES DES CHEMINS DE FER.

Pour qu'une roue ne puisse pas prendre une fausse direction à son passage sur ces appareils, elle doit rester constamment guidée.

Fig. 231 *bis*.

Elle se trouvera dans de bonnes conditions si, au moment où le boudin sera sur le point de quitter le bord R du contrerail à l'endroit du coude, l'autre extrémité de la roue a déjà franchi la pointe P de l'appareil.

La position limite de la roue par rapport au contrerail et à la pointe est représentée par la figure 231 *bis*.

$D = KE$ = diamètre de la roue au roulement.

$b = AK$ = saillie du boudin = à approximativ^{t}.

d = distance du coude du contrerail à la pointe.

H = surélévation du contrerail au-dessus de la pointe.

On a :

$$CR^2 = d'^2 = AC \times CB = (b + D - H)(H + b)$$
$$EP^2 = (d - d')^2 = EA \times EB = (b + D)\,b$$

d'où : $$d' = d - \sqrt{(b + D)\,b}$$

et : $$(b + D - H)(H + b) = d^2 + (b + D)\,b - 2d\sqrt{(b + D)\,b}$$
$$H^2 - H \times D + d^2 - 2d\sqrt{(b + D)\,b} = 0$$
$$H = \frac{1}{2}\left(D \pm \sqrt{D^2 - 4d^2 + 8d\sqrt{(b + D)\,b}}\right)$$

$H = 0$ pour $-4d^2 + 8d\sqrt{(b + D)\,b} = 0$

ou $$d = 2\sqrt{(b + D)\,b}$$

H est maximum pour

$$D^2 - 4d^2 + 8d\sqrt{(b + D)\,b} = 0$$

ou $$d = \frac{D}{2} + b + \sqrt{(b + D)\,b}$$

Ce maximum de $H = \dfrac{D}{2}$

Application (1). — Quelle est la valeur maxima de d, distance du coude du contrerail à la pointe de l'appareil au-dessus de laquelle la surélévation du contrerail est nécessaire, sachant que :

le diamètre des plus petites roues $D = 1$ mètre ;
la saillie du boudin des roues $b = 0^m,035$.

$$d = 2\sqrt{(b + D)\,b}$$
$$d = 0^m,38.$$

Application (2). — Quelle est la valeur de d qu'on ne doit pas dépasser, sachant que $D = 1$ mètre, $b = 0{,}035$.

$$d = \frac{D}{2} + b + \sqrt{(b + D)\,b}$$
$$d = 0^m,73.$$

Application (3). — Déterminer la valeur de H, surélévation du contrerail au-dessus du niveau de la pointe, sachant que :

$$D = 1^m,000$$
$$b = 0^m,035$$
$$d = 0^m,500$$
$$H = \frac{1}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - 4d^2 + 8d\sqrt{(b+D)b}}\right)$$
$$H = 0^m,065.$$

Remarque.— Si α = angle d'une traversée de voie.
l = largeur de la voie.

l'essieu fera un angle = α avec la ligne joignant les coudes des contrerails de chaque appareil, de sorte qu'une roue se trouvera guidée par l'autre sur une distance égale à $l \sin \alpha$.

Il en résulte que, dans l'expression de la valeur de H, d devra être diminuée de $l \sin \alpha$.

Considérations générales sur les voies de chemin de fer en rails a double champignon

1° En alignement droit, la voie se rétrécit ; les rails se déversent à l'intérieur.

2° En courbe, la voie s'élargit ; les rails se déversent à l'extérieur. Dans la pose, on donne 1 centimètre de plus de largeur dans les courbes de faible rayon.

3° Les rails sont entraînés dans le sens de la marche des trains. Le coinçage fait de l'amont à l'aval s'oppose à ce mouvement. Les coins en acier donnent de bons résultats.

4° Aux joints en porte-à-faux, il y a chute de la roue en passant du rail d'amont au rail d'aval. Dans les voies perpendiculaires au méridien magnétique, il se développe *un pôle boréal*, au point où la roue tombe sur le rail d'aval.

5° Le roulement s'effectuera en courbe comme en alignement droit, c'est-à-dire sans glissement longitudinal, si l'on a la relation :

$$R = \frac{l\,D}{4 \times c \times j}$$

R = Rayon de la courbe.
l = largeur de la voie d'axe en axe des rails.
D = Diamètre des roues.
c = conicité des bandages = inclinaison des rails.
j = jeu de la voie.

Application. — Données :

$$l = 1^m,51 ; \quad D = 1^m,00 ; \quad c = \frac{1}{20} ; \quad j = 0^m,04.$$

Rayon minimum de la courbe :

R = 189 mètres.

Appareil enregistreur de la vitesse des trains du système Sabouret

La première roue du train agit sur des pédales disposées contre les rails à des distances connues. Ces pédales sont mises en communication avec l'appareil au moyen de tubes en caoutchouc dans lesquels l'air se comprime.

L'appareil comprend principalement un diapason qui est déclenché en même temps qu'un cylindre qui tombe verticalement en tournant autour d'une vis héliçoïdale qui lui sert d'axe. Ce déclenchement est produit automatiquement par la première roue du train.

Le cylindre est recouvert d'une feuille de papier enduite de noir de fumée sur lequel un style trace un diagramme dont chaque sinuosité représente $\frac{1}{435}$ de

seconde. Le diapason donnant le *la* fait 435 vibrations en 1".

On fixe ensuite le diagramme à l'aide de vernis à l'alcool.

La vitesse est donnée par :

$$V = L \times \frac{435}{n} \times 3600$$

L = longueur parcourue.

n = nombre de sinuosités du diagramme.

Le commencement et la fin du parcours observé se trouvent repérés sur le diagramme automatiquement, au moment du passage de la roue en regard de ces points.

RÉSISTANCE DES MATERIAUX

RÉSISTANCE A L'EXTENSION

MATIÈRES	COEFFICIENT d'élasticité	CHARGE pratique par unité de surface	ALLONGEMENT proportionnel correspondant	CHARGE LIMITE d'élasticité par unité de surface	ALLONGEMENT proportionnel correspondant	CHARGE de rupture par unité de surface
MÉTAUX						
Fer	$20^k \times 10^9$	$6^k \times 10^6$	$0^m,0003$	$12^k \times 10^6$	$0^m,0006$	$40^k \times 10^6$
Acier	20×10^9	15×10^6	0 ,00075	30×10^6	0 ,0015	70×10^6
Fonte (moyenne)	10×10^9	$2,5 \times 10^6$	0 ,00025	8×10^6	0 ,0008	12×10^6
Cuivre	10×10^9	4×10^6	0 ,0004	20×10^6	0 ,002	25×10^6
Plomb	$0,5 \times 10^9$	$0,45 \times 10^6$	0 ,0009	1×10^6	0 ,002	$1,35 \times 10^6$
Acier Bessemer pour rails moyennement durs	19×10^9	»	»	30×10^6	»	70×10^6
Fonte de moulage	10×10^9	3×10^6	»	$7,5 \times 10^6$	»	11×10^6
Fonte grise ordinaire (moyenne)	9×10^9	3×10^6	»	»	»	12×10^6
Zinc	. .	. .	. .	. .	. .	$5,5 \times 10^6$
BOIS (suivant les fibres).						

Frêne	$1{,}12 \times 10^9$	$1{,}2 \times 10^6$	»	$1{,}8 \times 10^6$	0 ,001	12×10^6
Hêtre	$0{,}98 \times 10^9$	$0{,}8 \times 10^6$	»	$2{,}15 \times 10^6$	0 ,002	8×10^6
Charme	$1{,}10 \times 10^9$	»	»	$1{,}3 \times 10^6$	0 ,001	»
Acacia	$1{,}25 \times 10^9$	»	»	$3{,}15 \times 10^6$	0 ,0025	»

Nota. — Il convient de ne pas considérer les données de ce tableau se rapportant aux bois comme absolues.

CORDES EN CHANVRE

de 13 à 14 millimètres de diamètre	250×10^6	$1{,}5 \times 10^6$	»	»	»	$8{,}8 \times 10^6$
13 à 17 — —	»	$1{,}2 \times 10^6$	»	»	»	$6{,}5 \times 10^6$
23 — —	»	$1{,}1 \times 10^6$	»	»	»	6×10^6
40 à 54 — —	»	$1{,}0 \times 10^6$	»	»	»	$5{,}5 \times 10^6$
Cordages goudronnés	»	$0{,}9 \times 10^6$	»	»	»	$4{,}4 \times 10^6$
Corde vieille	»	$1{,}0 \times 10^6$	»	»	»	5×10^6

COURROIES EN CUIR

Cuir de mouton	$3{,}81 \times 10^6$	$0{,}22 \times 10^6$	»	»	»	$1{,}1 \times 10^6$
Cuir de veau	$3{,}91 \times 10^6$	$0{,}25 \times 10^6$	»	»	»	$1{,}29 \times 10^6$
» cheval	$6{,}12 \times 10^6$	$0{,}50 \times 10^6$	»	»	»	$2{,}45 \times 10^6$
» vache	$6{,}83 \times 10^6$	$0{,}54 \times 10^6$	»	»	»	$2{,}71 \times 10^6$

Résistance a la compression

Matières	Coefficient de compression	Charge pratique par unité de surface	Charge limite d'élasticité par unité de surface	Charge d'écrasement par unité de surface
MÉTAUX				
Fer . . .	$16^k \times 10^2$	6×10^6	18×10^6	$25^k \times 10^6$
Fonte . .	8×10^2	10×10^6	23×10^6	75×10^6
Cuivre . .	»	»	»	22×10^6
Acier trempé	»	»	80×10^6	160×10^6
Plomb . .	»	»	»	5×10^6
BOIS (SUIVANT LES FIBRES)				
Chêne . .	»	$0^k,6 \times 10^6$	»	$4,2 \times 10^7$
Sapin . .	»	$0,8 \times 10^6$	»	$4,2 \times 10^6$
Frêne . .	»	»	»	6×10^6
Hêtre . .	»	»	»	5×10^6

Résistance au cisaillement

Matières	Effort pratique par unité de surface	Effort par unité de surface produisant le cisaillement
MÉTAUX		
Fer	6×10^6	$37^k,6 \times 10^6$
Cuivre	3×10^6	19×10^6
Zinc.	$1,5 \times 10^6$	9×10^6
Plomb	$0,3 \times 10^6$	2×10^6
Etain	$0,4 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$
Alliage de plomb et d'étain.	$0,6 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$
Fonte	3×10^6	19×10^6

Résistances d'élasticité et de rupture

RÉSISTANCE VIVE d'élasticité		RÉSISTANCE VIVE de rupture	
Matières	Résistance vive d'élasticité d'une tige de 1 m² de section et de 1 m. de longueur.	Matières	Résistance vive de rupture d'une tige de 1 m² de section et de 1 m. de long.
MÉTAUX			
Fer ductile en barre ou fil .	3.300 k.	Fer en fil ou en barre recuit .	4.000.000 k.
Fil de fer dur recuit . . .	6.620	Fil de fer fort ou non recuit. .	80.000
Fil de fer fort non recuit .	5.850	Acier trempé ou recuit . . .	70.000
Fil d'acier . .	15.000	Acier fondu de 1re qualité. .	160 000
Fil de laiton doux recuit .	12.500	Fil de laiton recuit . . .	4.500.000
Fil de laiton fort non recuit.	12.750	Fil de laiton non recuit. .	200.000
		Fil de plomb étiré à froid .	350.000
BOIS (SUIVANT LES FIBRES)			
Chêne . . .	1.700	Bois de toute nature. . .	12,100
Sapin . . .	1.300		

Définitions.

Coefficient d'élasticité est le rapport de la charge par unité de surface à l'allongement proportionnel.

Résistance vive d'élasticité est le travail à dépenser pour faire atteindre à une tige, sous une action brusque, comme la chute d'un corps, sa limite d'élasticité.

Résistance vive de rupture est le travail à dépenser dans les mêmes conditions pour produire la rupture de la tige.

Applications des tableaux précédents :

Problème 1. — Déterminer la section d'une tige cylindrique en acier, de 100 mètres de longueur, de manière qu'elle puisse supporter pratiquement un poids de 10.000 kilogrammes?

$$x \times 100 \times 7.800^k + 10,000 = x \times 15 \times 10^6$$

$$x = \frac{10,000}{15 \times 10^6 - 780,000} = 703 \text{ millimètres carrés.}$$

Problème 2. — Déterminer la résistance vive d'élasticité d'une barre de fer forgé de 1 centimètre carré de section et de 10 mètres de longueur?

$$T = 3.300^k \times 10 \times 0,0001 = 3 \text{ km},3$$

Ce travail correspond à la chute d'un poids de 3 kil. 3 tombant de 1 mètre de hauteur.

On a aussi, en se servant des données relatives à l'extension :

$$T = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^9 \times 0,0001 \times 10 \times 0,0006^2 = 3 \text{ km},600$$

Problème 3. — Déterminer la résistance vive de rupture d'une barre de fer forgé de 1 centimètre carré de section et de 10 mètres de longueur?

$$T = 4.000.000 \times 10 \times 0,0001 = 4.000 \text{ km}$$

Ce travail correspond à la chute de 4.000 kilogrammes tombant de 1 mètre de hauteur.

MATIÈRES	RÉSISTANCE à l'écrasement		Résistance à l'user pour dallages	POIDS du mètre cube	RÉSISTANCE à la traction	
	Charge pratique	Charge par m² produisant l'écrasement	Usure en centièmes de mm. après 20.000 coups du bloc-user (Machine Müller)		Effort pratique	Effort produisant la rupture
Basalte	2×10^6	20×10^6	168	2.950 k.	$0{,}08 \times 10^6$	$0{,}77 \times 10^6$
Lave de Volvic	$0{,}6 \times 10^6$	6×10^6	106	2.600	»	»
Grès vosgien	$0{,}6 \times 10^6$	6×10^6	165	2.640	»	»
Granit vosgien	$0{,}6 \times 10^6$	$6{,}2 \times 10^6$	»	2.850	»	»
Porphyre	$2{,}47 \times 10^6$	$24{,}7 \times 10^6$	»	2.870	»	»
Pierre de Conflans	$0{,}1 \times 10^6$	1×10^6	»	2.070	»	»
Calcaire de Ravière (Yonne)	$0{,}25 \times 10^6$	$2{,}5 \times 10^6$	»	2.190	»	»
Brique réfractaire de Bourgogne	$0{,}16 \times 10^6$	$1{,}62 \times 10^6$	»	2.200	»	»
Calcaire compact du Jura	$0{,}51 \times 10^6$	$5{,}1 \times 10^6$	»	2.740	»	$0{,}30 \times 10^6$
Laitiers agglomérés	$0{,}32 \times 10^6$	$3{,}2 \times 10^6$	»	2.880	»	»
Béton aggloméré	$0{,}22 \times 10^6$	»	46 à 110	2.285	»	»
Brique ordinaire	»	$0{,}35 \times 10^6$	»	1.500	$0{,}02 \times 10^6$	$0{,}20 \times 10^6$
Plâtre	»	de 0,4 à $1{,}0 \times 10^6$	»	»	$0{,}01 \times 10^6$	$0{,}12 \times 10^6$
Mortier de chaux hydraulique	»	$0{,}74 \times 10^6$	»	1.700	$0{,}01 \times 10^6$	$0{,}10 \times 10^6$

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION (suite)

MATIÈRES	RÉSISTANCE à l'écrasement		Résistance à l'user pour dallages	POIDS du mètre cube	RÉSISTANCE à la traction	
	Charge pratique	Charge par m² produisant l'écrasement	Usure en centièmes de mm. après 20.000 coups du bloc-useur (Machine Müller)		Effort pratique	Effort produisant la rupture
Ciment de Portland	»	»	75	»	$0{,}01 \times 10$	$0{,}13 \times 10^6$
Banc franc de Charenton	»	$2{,}38 \times 10^6$	»	2.020	»	»
Marbre de Sampsans (Jura)	»	$10{,}8 \times 10^6$	»	2.640	»	»
Mortier ordinaire	»	$0{,}35 \times 10^6$	»	1.650	»	$0{,}04 \times 10^6$
Mortier en ciment de Vassy	»	$1{,}55 \times 10^6$	»	2.110	»	»
Béton en mortier de chaux hydraulique	$0{,}04 \times 10^6$	0.40×10^6	»	1.850	»	»
Carreau en terre cuite	»	»	80 à 680	»	»	»
Asphalte de Seyssel	»	»	102	»	»	»
Carreau de chaux hydraulique	»	»	160	»	»	»
Marbre de la Jallerie	»	»	70	»	»	»
Trottoirs en ciment	»	»	71	»	»	»
Dalles en mortier de ciment	»	»	147	»	»	»
Banc franc de Frontenac	»	»	382	»	»	»

Machines à essayer les métaux à la traction.

MACHINE A LEVIER ET A PLATEAU. — C'est la plus simple.

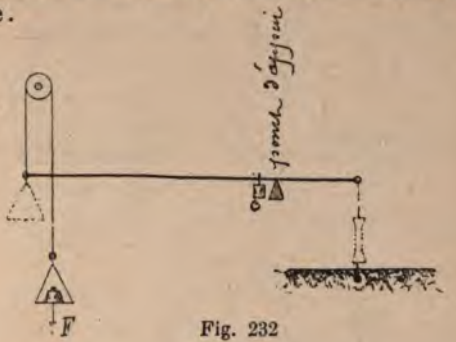


Fig. 232

Connaissant :

R = rapport entre le grand et le petit bras de levier.

p = poids du plateau et de ses accessoires.

F = poids initial du fléau.

P = poids ajouté sur le plateau pour obtenir l'équilibre, c'est-à-dire l'horizontalité du fléau.

c = charge due à la position du curseur sur le fléau.

On aura pour l'effort Q, supporté par l'éprouvette :

$$Q = (p + F + P) \times R + c$$

F s'obtiendra en mesurant à l'aide d'une bascule l'effort nécessaire pour maintenir le fléau horizontal en le soutenant au point de suspension du plateau. Il peut également se trouver en lui faisant équilibre au moyen de poids suspendus à l'extrémité d'une corde passant autour d'une poulie verticale (croquis ci-contre).

Dans le cas où la charge constituée par le poids initial du fléau F, augmenté de celui du plateau p, serait trop considérable pour l'épreuve à faire, il y aurait lieu d'équilibrer le système, comme précédemment, pendant l'épreuve.

Formes des éprouvettes généralement adoptées.

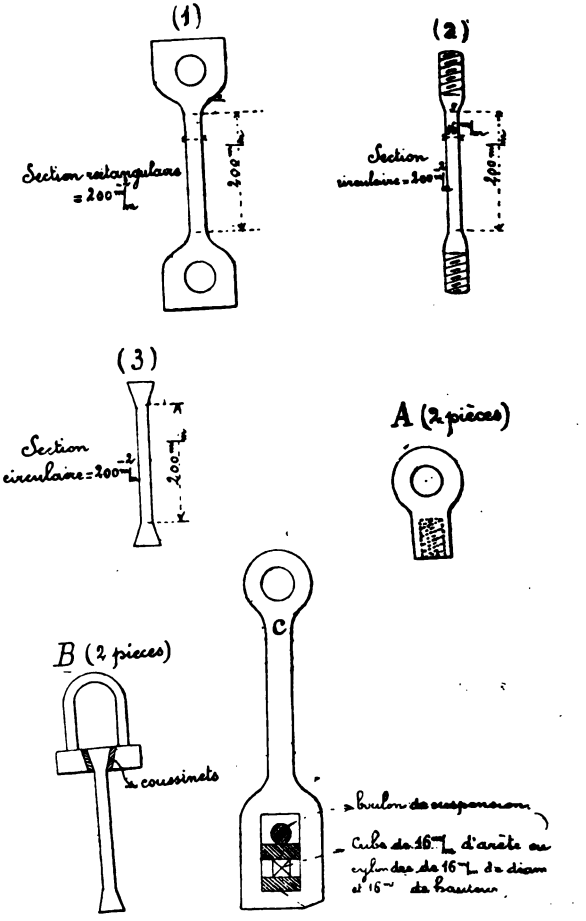


Fig. 233 à 238

— Pour l'essai des fers, on emploie les éprouvettes (1) et (2). L'éprouvette (1) se suspend aux chapes du petit

bras de levier par des broches, et l'éprouvette (2) à l'aide des écrous à œil A.

Pour l'essai des fontes, les éprouvettes (3) seront faites au tour, comme l'éprouvette (2), et assujetties à la machine par des chapes B munies de coussinets coniques.

Essais à la compression. — On se servira d'une chape *c* à évidement rectangulaire, permettant d'y loger le cube ou cylindre à essayer, qui sera placé entre deux coussinets d'acier.

Machine a transmission de mouvement mécanique (système Trayvou)

Charge maxima : 25.000 kilogrammes.

L'éprouvette est attelée à une vis verticale, mise en mouvement par une roue héliçoïdale horizontale, formant écrou, engrenant avec une vis sans fin. Cette vis reçoit son mouvement d'une transmission par courroie. Une romaine, à laquelle se transmet, par un système de leviers, l'effort de traction, permet d'obtenir cet effort par une simple lecture, après avoir eu soin d'établir l'équilibre an moyen du curseur.

Machines diverses. — Machines à levier équilibré et poids curseur, sans plateau. La traction peut être donnée par presse hydraulique. — Machine Thomasset.

Machines a essayer les manches de pioches

Un manche peut être considéré, pendant le travail de la pioche, comme encastré dans la douille de celle-ci, et soumis vers son autre extrémité à l'effort exercé par

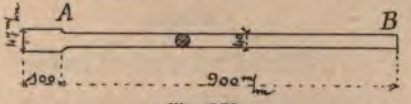


Fig. 239

le terrassier. C'est par conséquent la section A qui se trouve la plus fatiguée.

Pour réaliser le mieux possible les conditions de la pratique, la machine se compose d'une pièce de bois verticale M, de 10 centimètres d'épaisseur, percée d'un trou circulaire de 47 millimètres, servant à encastrer le manche dans la position horizontale. Vers l'autre extrémité du manche, deux montants verticaux N, N' servent de guide à un plateau que l'on fait reposer sur le manche, et sur lequel on fait tomber un mouton.

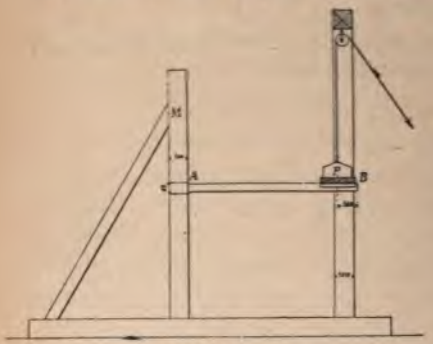


Fig. 240

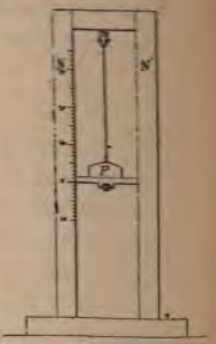


Fig. 241

L'expérience a démontré qu'un bon manche résiste à la chute d'un mouton de 20 kilogrammes, tombant d'une hauteur de 35 centimètres, et à 10 centimètres de l'extrémité B du manche.

Extrait d'un cahier des charges pour la fourniture des fers et fontes destinés à une halle métallique.

Fers

1° Épreuves a la traction

Il sera prélevé à froid des éprouvettes ayant 200 millimètres de longueur et une section de 200 millimètres carrés environ.

Elles seront soumises à des efforts successifs de 5, 10, 15, 20, 30 kilogrammes par millimètre carré de section, avec intervalle de 2 minutes. A partir de 30 kilogrammes, les accroissements se feront par 1 kilogramme de 2 en 2 minutes. On mesurera les allongements sous charge et permanents sur une longueur de 10 centimètres. Les échantillons devront supporter sans allongement permanent un effort de 15 kilogrammes par millimètre de section et présenter après rupture au moins les allongements permanents suivants :

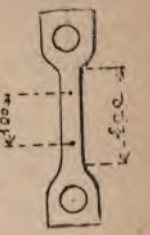


Fig. 242

NATURE DES FERS	EFFORT de traction par mill. carré de la section primitive que le métal doit supporter sans rupture	ALLONGEMENT permanent minimum après rupture
Tôle dans le sens perpendiculaire au laminage . . .	28 kilogr.	4 °/₀
Tôle dans le sens du laminage	32 »	6
Fers cornières, fers à T, à I, à U et tous fers profilés analogues.	33 »	9
Fers ronds, carrés ou plats de qualité courante	33 »	10
Fers ronds de 1re qualité, pour rivets, boulons ou tirants .	34 »	12

2° Épreuves par coudage a froid

Un échantillon plat de 16 centimètres de longueur sera découpé dans le fer à essayer. On l'introduira de 8 centimètres dans un trou pratiqué dans un bloc de

fonte à bords arrondis, avec un jeu de $\frac{1}{2}$ millimètre. On lui fera prendre, en le frappant, un angle de 45°, puis on le redressera à froid. Le fer ne devra présenter ni rupture, ni criques, ni altération. On jugera de la texture du fer en continuant jusqu'à rupture.

3° Épreuves a chaud

Se fera sur le fer à rivets. On en fera plusieurs rivets qu'on emploiera dans les conditions de travail auquel ils sont destinés. Ils devront résister à des chocs répétés du marteau sur les fers tout autour d'eux.

Fontes.

Des barreaux d'épreuve seront coulés en même temps que chaque série de pièces.

1° *Compression.* — De petits cylindres de 0m,016 de diamètre sur 0m,016 de hauteur, ou des cubes de 0m,016 de côté tirés dans les barreaux d'épreuve ne devront pas s'écraser sous une charge de 65 kil. par millimètre carré.

2° *Traction.* — L'éprouvette aura 200 millimètres de longueur et 200 millimètres carrés de section circulaire environ. Elle sera soumise à des efforts de 5, 10, 16 kilogrammes par millimètre carré, avec des intervalles de 2 minutes. A partir de 16 kil., les accroissements se feront par 1 kilogramme de deux en deux minutes. Les échantillons devront supporter sans se rompre 16 kilogrammes par millimètre carré.

Fig. 243

3° *Choc.* — Des barreaux de 25 centimètres de longueur sur 0m,04 × 0m,04 seront placés horizontalement sur deux couteaux en acier espacés de 16 centimètres et solidement fixés sur une enclume en fonte. Chaque

barreau devra supporter sans se rompre le choc d'un boulet sphérique de 12 kil. tombant librement de 40 centimètres de hauteur. On continuera jusqu'à rupture en laissant tomber le boulet à des hauteurs croissantes de 45 et 50 centimètres.

Extrait d'un cahier des charges pour la fourniture de fil de fer galvanisé de 4 millimètres et 1mm,5 de diamètre.

Le fer proviendra de fontes de qualités supérieures. Il sera de premier choix, doux, nerveux et devra présenter une cassure claire. Les fils seront recuits et ensuite galvanisés avec du zinc pur.

ÉPREUVES

1° Un bout de 1 mètre pris dans chaque botte sera soumis pendant 3 minutes à un effort de traction de 30 kilogrammes par millimètre carré de section.

Le fil de 1mm,5 ne devra pas conserver un allongement supérieur à 2 %. Le fil de 4 millimètres ne devra pas conserver d'allongement permanent.

La rupture se produira sous un effort supérieur à 40 kilogrammes par millimètre carré pour le fil de 1mm,5 et à 50 kil. pour le fil de 4 millimètres.

2° Serré fortement dans un étau, il devra pouvoir être plié à angle droit alternativement dans un sens et dans l'autre au moins trois fois de suite sans se rompre.

3° Deux bouts devront pouvoir être tordus l'un sur l'autre et former sans se déchirer et sans que la couche de zinc se fendille ou se détache, une corde droite donnant, sur une longueur de 10 centimètres, 18 spires pour le fil de 4 millimètres, et 40 pour le fil de 1mm,5.

4° Le fil devra supporter sans être mis à nu, même

partiellement, quatre immersions de 1 minute chacune dans une dissolution composée de 1 partie de CuO,SO^3 et 5 parties d'eau.

5° A l'aide d'une pince plate on fera deux coudages à 180° aux deux bouts de chaque botte et deux redressements. Ces coudages seront faits de façon que le diamètre intérieur de la partie arrondie soit égal au diamètre du fil. Le fil ne devra après cette épreuve présenter ni criques ni gerçures.

Extrait d'un cahier des charges pour la fourniture de rails double champignon, en acier fondu, de 11 mètres.

L'acier sera obtenu par le procédé Bessemer ou Martin. Il sera de première qualité, à grain fin, compact, homogène, dur et tenace, susceptible de prendre une trempe ferme.

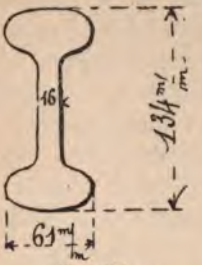


Fig. 244

Les rails seront affranchis à chaud aux deux extrémités d'au moins $0^m,30$ dans le but d'enlever les soufflures.

Le réchauffage doit être proscrit, pour éviter les surfaces rugueuses qui s'opposent à la juxtaposition des éclisses.

Épreuves

1° Un rail ou barre d'épreuve placé sur deux points d'appui espacés de $1^m,10$ devra supporter en son milieu pendant 5 minutes, sans conserver de flèche permanente, une pression de 16.000 kilogrammes (presse de Graffenstaden).

2° La même barre, placée dans les mêmes conditions, ne devra pas se rompre sous une pression de 35.000 kilogrammes, ni présenter sous cette charge une flèche permanente supérieure à 8 millimètres. La rupture sera obtenue sous une charge supérieure à 47.000 kil.

3° Les tronçons de rails cassés, placés sur deux points d'appui espacés de $1^{m},10$, supporteront sans se rompre un mouton de 300 kil. tombant de 1 mètre de hauteur. La rupture devra être atteinte sous une hauteur de chute de 4 mètres.

4° On laminera sous forme de lames de ressort les bouts de rails provenant de ces épreuves et on leur donnera la façon et la trempe usitées. Ces lames reposeront par leurs extrémités sur deux chariots mobiles et seront chargées pendant 5 minutes en leur milieu de façon à produire une déformation correspondant pour les fibres extrêmes de la surface concave à un allongement de 4 millimètres par mètre. Elles devront reprendre leurs formes primitives après l'enlèvement de la charge.

5° Dans les chutes des rails provenant des coulées, on prendra un morceau d'acier, qui sera forgé soit en outil de tour, de machine à mortaiser, à percer ou à raboter, soit en burin à la main. Chacun de ces outils, trempé, devra pouvoir travailler la fonte grise de grain fin sans s'égréner, se casser ni se refouler.

6° Comme renseignements complémentaires on prendra deux morceaux provenant des chutes, que l'on ajustera sous forme de barreaux d'épreuves. L'un sera trempé, l'autre recuit, et chacun d'eux sera éprouvé à la traction jusqu'à rupture.

BOULONS

Pour les machines ordinaires, bâtiment et charpente :

$$d = 0{,}674\sqrt{P}$$

P = effort que doit supporter le boulon

d = diamètre du noyau du filet, en millimètres.

Tension maxima du noyau = 4^k par millimètre carré de section.

La saillie des filets sur le noyau = $\frac{1}{10}$ de son diamètre d.

Le pas = $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{12}$ du diamètre du noyau d.

Le diamètre du corps du boulon est un peu supérieur au diamètre extérieur des filets.

Écrous : $D = 5 + 1{,}4\,d_1$

D = diamètre du cercle circonscrit à l'hexagone ou au carré.

d_1 = diamètre extérieur du filet,

hauteur des écrous = 1,00 à 1,40 d,

Pression maxima sur le filet = 1^k par millimètre carré.

FILETAGE

Conditions principales que doivent remplir les vis.

1° Le filet ne doit pas être trop profond afin de ne pas trop affaiblir le corps du boulon.

2° Le filet ne doit pas être trop fin pour l'exécution.

3° L'inclinaison de l'hélice moyenne ne doit pas être trop faible dans les vis de petit diamètre pour éviter la rupture au serrage.

4° Le filet carré donne le moindre frottement, mais la différence avec le filet triangulaire n'est pas importante dans les vis mécaniques.

5° Un arrondi ou un plat à l'extérieur des filets est utile pour éviter les ruptures par chocs.

6° La forme de la vis doit être telle que les outils puissent se construire facilement.

Projet d'unification des filetages et des jauges de tréfilerie.

La Société d'encouragement pour l'Industrie Nationale propose le système suivant pour les vis mécaniques dont les diamètres varient de 6 à 100 millimètres. (1894).

Soit un triangle équilatéral ABC. Les filets seront limités par 2 droites EF,GH tracées à une distance $\frac{h}{8}$. Les vis seront normalement enroulées à droite.

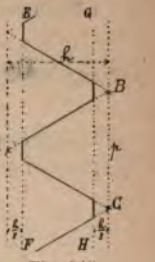


Fig. 245

Le pas de ces vis variera par $\frac{1}{2}$ millimètre à partir de 1 millimètre.

Le diamètre D en millimètres sera donné par la formule :

$$D = \frac{p\,(p+8)}{1{,}3} - 1{,}5$$ en arrondissant le résultat pour avoir le nombre pair le plus voisin.

Le diamètre de la vis est le diamètre du cylindre qui termine les filets suivant EF.

Le corps des boulons, vis, goujons sera enfermé dans un cylindre de diamètre égal à D + $0^{mm},5$ pour un diamètre de 6 à 14^{mm}, D + 1 pour un diamètre > 14^{mm} jusqu'à 48^{mm}, D + 2 pour un diamètre > 48^{mm}.

La longueur du corps du boulon sera de préférence un nombre entier de diamètres.

Les trous des goupilles, fentes auront un diamètre ou une largeur de 2 fois le pas au minimum.

L'angle au sommet des têtes fraisées sera voisin de 84°.

La saillie, la largeur et la hauteur des ergots seront des multiples du pas.

JAUGES DE TRÉFILERIE.

La Société d'Encouragement propose de renoncer à toutes les jauges et de se borner à l'avenir à des fils et des jauges dont les diamètres et graduations soient des nombres entiers de dixièmes de millimètre.

COMBINAISONS EMPLOYÉES POUR LE FILETAGE DES VIS D'UN PAS DONNÉ.

Principe. — Les pas faits sur 2 axes sont entre eux comme les nombres de dents des roues qu'ils supportent.

Filetage à 2 roues :

$$\frac{p}{P} = \frac{n}{N}$$

p = pas à produire sur la pièce placée entre les pointes du tour.

P = pas de la vis mère.

n = nombre de dents de la roue calée sur la poupée fixe.

N = nombre de dents de la roue fixée sur la vis mère.

Généralement on prend dans la série une roue quelconque qui montée sur l'arbre de la tête de cheval empeigne avec les 2 roues dont le rapport des dents $= \frac{p}{P}$.

Cette 3e roue n'est qu'une transmission et n'a aucune influence sur le mouvement.

Problème (1). — Trouver les roues qui permettent de construire le pas de $7^{mm},5$

$$\frac{n}{N} = \frac{7,5}{10} \text{ (si le pas de la vis-mère = 10 millimètres)}$$
$$= \frac{75}{100} = \frac{3}{4}.$$

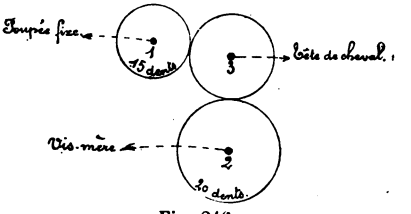


Fig. 246

Si on a à sa disposition les 2 séries de roues suivantes :

15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65
70, 75, 80, 90, 95, 100, 110, 120

les 6 combinaisons suivantes répondront à la question :

$$\frac{n}{N} = \frac{15}{20} = \frac{30}{40} = \frac{45}{60} = \frac{60}{80} = \frac{75}{100} = \frac{90}{120}.$$

Filetage à 4 roues :

S'emploie quand les combinaisons à 2 roues sont insuffisantes.

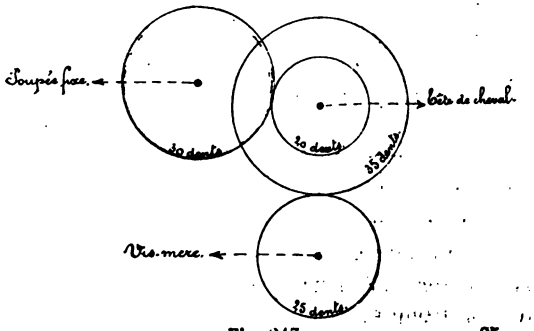


Fig. 247

Problème (2).— Construire le pas de 21 millimètres?

$$\frac{p}{P}=\frac{n}{N}=\frac{21}{10}=\frac{3}{2}\times\frac{7}{5}=\frac{30}{20}\times\frac{35}{25}$$

et plusieurs autres combinaisons.

Filetage à 6 roues :

On peut avoir besoin de 6 roues quand le pas à construire est grand par rapport à celui de la vis-mère (pour vis à plusieurs filets, ou bien pour tailler à la fraise des engrenages héliçoïdaux.)

Problème (3).— Construire le pas de 231 millimètres?

$$\frac{n}{3}=\frac{231}{10}=\frac{21}{5}\times\frac{11}{2}=\frac{3}{1}\times\frac{7}{2}\times\frac{11}{5}=\frac{45}{15}\times\frac{70}{20}\times\frac{55}{25}$$

et d'autres combinaisons.

Il faudra employer 2 arbres auxiliaires et 2 têtes de cheval.

RIVETS

$$d'=2e$$
$$d'=1{,}05\,d$$

d' = diamètre du trou qui doit recevoir le rivet.
e = la plus grande épaisseur des tôles à réunir.
d = diamètre du rivet.

Un bouterollage incomplet présente de graves inconvénients, car il diminue beaucoup la tension du rivet. Les rivets doivent porter sur toute leur surface.

Quand on a des rivets trop courts ou des bouterolles usées, on augmente le serrage en augmentant la température de pose.

La température, une fois la rivure achevée, ne doit pas dépasser 150° pour que la limite d'élasticité ne soit pas atteinte.

L'adhérence pratique des tôles rivées est de 3^{k} en-

viron par millimètre carré de section du rivet ; c'est le $\frac{1}{5}$ de l'adhérence réelle.

Les rivets seront en fer à grain fin de préférence.

$m = 1{,}67$ = rapport entre le diamètre de la tête et celui du rivet. La tension du rivet augmente avec m.

Rivets des poutres a double T

Les rivets qui réunissent les cornières à l'âme se trouvent dans des conditions de résistance moins avantageuses que ceux qui réunissent les cornières aux platebandes ; aussi convient-il d'appliquer contre l'âme l'aile la plus large des cornières.

Distance d'axe en axe des rivets < 5 fois leur diamètre. Pour les chaudières cette distance $= 3\,d$.

CABLES EN CHANVRE

On peut admettre que la résistance à la rupture est en moyenne de 5^k par millimètre carré de section. La charge pratique $= \frac{1}{5}$ de la résistance à la rupture.

$$d = 0{,}00113\sqrt{P}$$

d = diamètre.

P = effort de traction ou charge qu'ils doivent supporter.

Résistance des cordes goudronnées $= \frac{3}{4}$ de celle des cordes blanches d'un même nombre de fils de carets.

Résistance d'une corde mouillée $= \frac{1}{2}$ de celle de la même corde sèche.

Résistance par millimètre carré est plus grande pour les petits cordages que pour les gros.

Le chanvre s'allonge 100 fois plus que le fer sous la même charge.

(Voir le tableau de la résistance à l'extension).

CABLES MÉTALLIQUES

$$D = 0{,}00045\sqrt{P}$$

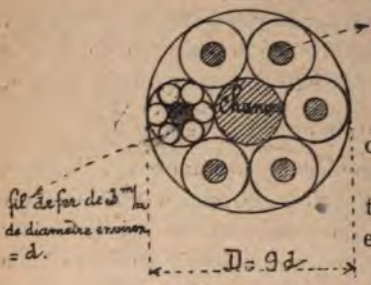


Fig. 248

D = diamètre du câble.

P = effort de traction auquel le câble est soumis.

D = $\frac{4}{10}$ du câble en chanvre pour la même valeur de P.

Densité des fils de fer = 7,8.

Densité de la corde en chanvre = 0,95.

Pour lever une même charge, le câble en fils de fer ne pèse que 0,62 du câble en chanvre.

La résistance à la rupture des fils de fer de 3 millimètres de diamètre atteignant 80 kilogrammes, la tension admise dans l'établissement de la formule précédente a été de 14 k. $\times 10^6$ par millimètre carré de section.

CHAINES

Chaines a maillons droits sans étançons

Les dimensions ordinaires des chaînes sont celles du croquis.

$$p = 20{,}136 \times d^2$$

p = poids par mètre de longueur de chaîne.

d = diamètre du maillon.

Avant la mise en service, on soumet les chaînes à une charge de 15 kilogrammes par millimètre carré de la double section.

Le contact des maillons s'établit sur la demi-circon-

férence pendant les épreuves si le fer est suffisamment ductile. Dans le cas contraire, la chaîne se rompt suivant AB.

La section la plus fatiguée est CD, la moins fatiguée est C'D'. C'est vers cette dernière section qu'il convient de faire la soudure.

$$d = 0{,}00041\sqrt{P}$$

Le fer est supposé travailler en toute sécurité à une pression de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Quand la chaîne doit avoir une grande longueur, il convient de tenir compte de son poids propre.

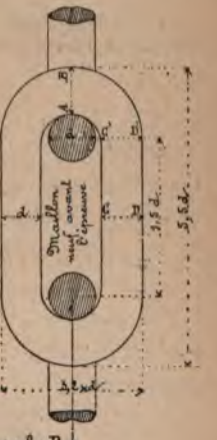


Fig. 249

Chaines avec étançons

L'étançon diminue la tension de 20 %, mais il augmente notablement le prix du kilogramme de la chaîne.

On fabrique des chaînes en acier sans soudure présentant de bonnes garanties de résistance. On est même arrivé à donner au maillon la même forme qu'au maillon en fer.

RÉSISTANCE DES SUPPORTS DES ABOUTS DES POUTRES DES TABLIERS MÉTALLIQUES

Calcul des sabots de friction

Les abouts des poutres en fer reposent principalement, pour les petits ponts, sur des semelles en fonte ou sabots qui s'appuient sur les sommiers en pierre de taille par l'intermédiaire d'une feuille de plomb.

$$R = \frac{2Q}{\lambda l} \qquad l = \frac{2Q}{l' R'}, \qquad l' = \lambda + 2e$$

R = charge pratique de compression que l'on peut faire supporter à la matière constituant le sabot.

Fig. 250

R' = charge de sécurité se rapportant au sommier en pierre de taille.

Q = charge supportée par le sabot.

e = épaisseur du sabot que l'on prend égale à $\frac{1}{10}\,l$.

λ = largeur de la platebande de la poutre.

l' = largeur du sabot.

l = longueur du sommier en fonte.

On vérifiera si R n'est pas trop grand. Pratiquement R doit être < 3 k. $\times 10^6$.

Application :

$$Q = 30.000^k, \quad \lambda = 0{,}40, \quad R' = 200.000^k.$$

$$l' = 0{,}40 + 0{,}2 \times l$$

$$l = \frac{2 \times 30.000}{(0{,}40 + 0{,}2\,l)\,200.000} = \frac{0{,}3}{0{,}40 + 0{,}2\,l}$$

d'où :

$$l = 0{,}58 \quad l' = 0{,}52$$

$$R = \frac{2 \times 30.000}{0{,}40 \times 0{,}58} = 258.000.$$

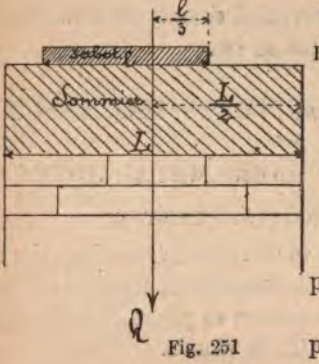


Fig. 251

Calcul des sommiers en pierre de taille

$$L = \frac{Q}{L' R''}$$

L = longueur de la pierre servant de sommier.

Q = charge supportée par le sommier.

L' = largeur du sommier.

R" = charge pratique de compression que l'on peut faire supporter à la maçonnerie située sous le sommier.

Application :

$$Q = 30.000, \quad L' = 1{,}00, \quad R'' = 40.000^k$$

$$L = \frac{30.000}{1{,}00 \times 40.000} = 0.750.$$

Rouleaux de friction

Pour les tabliers de quelque importance, et dans le but d'éviter les dislocations des maçonneries des culées, on emploie des rouleaux remplaçant le frottement de glissement par un frottement de roulement qui lui est bien inférieur.

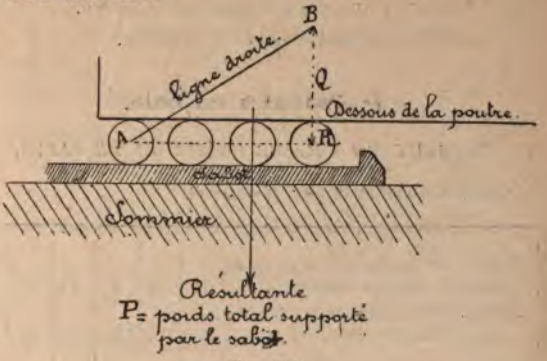


Fig. 252

La pression sur chaque rouleau varie suivant les ordonnées d'une ligne droite AB.

$$r = 0{,}0000068 \times \frac{Q}{l}.$$

r = rayon commun aux rouleaux supposés de même matière que le sabot.

Q = pression supportée par le premier rouleau R.

l = longueur des rouleaux = largeur des plate-bandes.

(Voir les Ponts métalliques pour le calcul des poutres).

POTEAUX ET COLONNES

Cas où la hauteur est inférieure a six fois la plus petite dimension transversale.

$$R = \frac{N}{\omega}$$

R = effort de compression pratique qu'on peut en toute sécurité faire supporter à la pièce par unité de surface.

N = charge que doit supporter la pièce.

ω = section transversale de la pièce.

1° Poteaux en bois.

Poteaux en bois de chêne ou de sapin.

Résultats trouvés par Rondelet :

Rapport de la hauteur à la plus petite dimension transversale .	12	24	36	48	60	72
Charges en centimètres carrés produisant la rupture	350k	210	140	70	35	18

La charge pratique est le $\frac{1}{10}$ de la charge de rupture.

Charges que l'on peut faire supporter avec sécurité a des poteaux en bois.

Formules de Hodgkinson :

$P = K \times \frac{ab^3}{l^2}$ } Le rapport entre la hauteur et le plus petit côté étant supposé compris entre 30 et 45.

P = charge que l'on peut faire supporter d'une manière permanente au poteau.

a = plus grande dimension transversale en centimètres.

b = plus petite dimension transversale en centimètres.

l = hauteur du poteau en décimètres.

$$K = \begin{cases} 256 \times 10^6 \text{ pour le chêne fort.} \\ 180 \times 10^6 \text{ pour le chêne faible.} \\ 214 \times 10^6 \text{ pour le sapin rouge et le pin résineux.} \\ 160 \times 10^6 \text{ pour le sapin blanc et le pin jaune.} \end{cases}$$

Pour les pilotis :

$P = 0^k,35 \times 10^6$ par m^2 de section.

2° Colonnes en fonte pleines.

Formules de Love :

$$\frac{P}{\omega} = \frac{R}{1,45 + 0,00337 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

P = Charge qu'on peut en toute sécurité faire supporter à la colonne.

ω = section transversale $= \frac{\pi d^2}{4}$.

$R = \frac{1}{6}$ de la charge d'écrasement par mètre carré $= \frac{1}{6}(75 \times 10^6) = 12.500.000$ kilogrammes.

l = hauteur de la colonne } exprimés en unités de même espèce.
d = diamètre de la colonne }

Le tableau suivant a été établi au moyen de cette formule.

Valeurs de $\frac{l}{d}$.	Valeurs de $\frac{P}{\omega}$ ou charges pratiques par mètre carré de section	Valeurs de $\frac{l}{d}$	Valeurs de $\frac{P}{\omega}$ ou charges pratiques par mètre carré de section
5	$12{,}5 \times 10^6$	50	$1{,}27 \times 10^6$
10	7×10^6	60	$0{,}92 \times 10^6$
20	$4{,}47 \times 10^6$	70	$0{,}70 \times 10^6$
30	$2{,}79 \times 10^6$	80	$0{,}54 \times 10^6$
40	$1{,}83 \times 10^6$	90	$0{,}43 \times 10^6$

3° Colonnes en fer pleines.

Formule de Love.

$$\frac{P}{\omega} = \frac{R}{1{,}55 + 0{,}0005 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

P = charge permanente que l'on peut faire supporter à la colonne avec sécurité.

$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ = section de la colonne.

R = charge pratique d'écrasement = 6×10^6 par unité de surface.

Valeurs de $\frac{l}{d}$.	Valeurs de $\frac{P}{\omega}$ ou charges pratiques par mètre carré de section	Valeurs de $\frac{l}{d}$	Valeurs de $\frac{P}{\omega}$ ou charges pratiques par mètre carré de section
5	6×10^6	50	$2{,}14 \times 10^6$
10	$3{,}75 \times 10^6$	60	$1{,}79 \times 10^6$
20	$3{,}43 \times 10^6$	70	$1{,}50 \times 10^6$
30	$3{,}00 \times 10^6$	80	$1{,}26 \times 10^6$
40	$2{,}55 \times 10^6$		

4° Colonnes en fonte creuses.

On connaît l et P ou charge que la colonne doit supporter d'une manière permanente. On se donnera, d'après les circonstances locales, un diamètre d extérieur, et le tableau précédent fera connaître $\frac{P'}{\omega}$, correspondant à une colonne pleine et par suite P'.

Si P'' est la charge pratique d'une colonne pleine de même hauteur et ayant le diamètre du vide cherché,

$$P'' = P' - P$$

La formule permettra d'en déduire d''. On pourra également se donner *a priori*, d'', et s'assurer, par le tableau, que ce diamètre convient bien.

On vérifiera ensuite que $d - d''$, différence entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur, est au moins égale au double de la plus petite épaisseur de fonte que l'on peut admettre pour se trouver dans de bonnes conditions de moulage. Dans le cas contraire, il conviendra de recommencer les calculs en donnant à la colonne un diamètre extérieur plus petit.

Il sera plus simple, en général, d'adopter un profil courant de colonne et de vérifier qu'il résiste en toute sécurité à la charge P, en admettant que P est égale à la charge de sécurité d'une colonne pleine ayant le diamètre extérieur diminué de la charge de sécurité d'une colonne pleine ayant le diamètre intérieur de la colonne.

RENSEIGNEMENTS DIVERS

Travail de l'Homme, des Animaux et des Machines

Efforts qu'un homme peut exercer sur un outil pendant un court intervalle de temps

(Aide-Mémoire du Général Morin).

DÉSIGNATION DES OUTILS	EFFORTS en kilogrammes
Plane	45 kil.
Tarière	45 »
Clé pour serrer les écrous	38 »
Étau en agissant sur la clé	33 »
Ciseau ou foret dans le sens vertical	33 »
Manivelle	30 »
Tenaille ou pince (par compression)	27 »
Rabot à main	23 »
Etau à main	20 »
Scie à main	16 »
Vilebrequin	7 »
Petit tournevis ordinaire	6 »

Travail que peut fournir l'homme (Morin)

NATURE DU TRAVAIL	POIDS élevé ou effort moyen exercé	VITESSE ou chemin par seconde	TRAVAIL par seconde	DURÉE du travail journalier	QUANTITÉ de travail journalier
		m	km		
Un homme monte à vide dans un escalier.	65 k.	0,15	9,75	8 h.	280.800 km
Un homme élève des poids avec une poulie (la corde descendant à vide).	18	0,20	3,60	6	77.760
Un homme porte sur son dos des poids au haut d'un escalier (revenant à vide).	65	0,04	2,60	6	56.160
Un homme transporte des matériaux avec une brouette sur une rampe de $\frac{1}{12}$ (revenant à vide)	60	0,20	1,20	10	43.200
Un homme élève des terres à la pelle à 1m,60 de hauteur.	27	0,40	1,08	10	38.880
Un homme agissant sur une manivelle.	8	0,75	6 00	8	172.800
Un homme tirant horizontalement ou poussant en marchant.	12	0,60	7,20	8	207.360
Un homme agissant sur une roue à chevilles. . . .	60	0,15	9,00	8	259.200
Un homme poussant et tirant alternativement dans le sens vertical	5	1,10	5,50	8	158.400

Transport horizontal des fardeaux

NATURE DU TRAVAIL	POIDS transporté	VITESSE ou chemin par seconde	TRAVAIL par seconde	DURÉE du travail journalier	QUANTITÉ de travail journalier
Un homme marche sur un chemin horizontal sans fardeau	65 k. (poids de l'homme)	1m,50	»	10	»
Un homme transporte des fardeaux sur son dos sur un chemin horizontal	40	0 ,75	»	7	»
Un homme transporte des matériaux dans une charrette à deux roues et revient à vide	100	0 ,50	»	10	»
Un homme transporte des matériaux dans une brouette et revient à vide	60	0 ,50	»	10	»
Un homme porte des fardeaux sur son dos et revient à vide	65	0 ,50	»	6	»
		Prix de revient			
TRAVAUX DE CHEMIN DE FER					
Déchargement et arrimage de coussinets et tuyaux	la tonne	0f,35			
Chargement en wagons et arrimage de coussinets et tuyaux	»	0f,35			
» » de traverses en pin	le mille	30f,00			
» ou déchargement de planches en pin (3 à 4 mètres de longueur)	»	4f,50			
Déchargement et mise en piles de pièces de chêne	le m3	1f,10			
Chargement en wagons de rails	la tonne	0f,35			
Déchargement de rails	»	0f,35			

TRAVAIL QUE PEUVENT FOURNIR LES ANIMAUX

NATURE DU TRAVAIL	POIDS transporté	VITESSE par seconde	TRAVAIL par seconde	DURÉE de l'action journalière	QUANTITÉ du travail journalier
Un cheval transportant des matériaux sur une charrette et marchant au pas.	700 k.	1m,10	»	10 heures	»
Un cheval transportant des matériaux sur une charrette et allant au trot	350	2 ,20	»	4,5	»
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette et revenant à vide chercher de nouvelles charges. .	700	0 ,60	»	10	»
Un cheval chargé sur le dos et allant au pas. . . .	120	1 ,10	»	10	»
Un cheval chargé sur le dos et allant au trot. . . .	80	2 ,20	»	7	»
	Effort moyen exercé				
Un cheval attelé à une voiture et allant au pas . . .	70	0 ,90	63	10	2.168.000
» un manège » au pas . . .	45	0 ,90	40,50	8	1.166.400
» » » au trot . . .	30	2	60	4,5	972.400
Un bœuf » » au pas . . .	65	0 ,50	39	8	1 123.000
Un âne » » au pas . . .	30	0 ,90	27	8	777.600
» » » au trot . . .	14	0 ,80	11,6	8	334.080

Machines pour le travail des bois

DÉSIGNATION DES MACHINES	FORCE nécessaire en chevaux	NOMBRE de tours de la poulie motrice en une minute
Machine à raboter les planches	1,50	600
» à rainer et languetter	1,00	600
» à planer les gros bois	3,00	300
» à faire les hampes .	1,00	400
Tour en l'air	0,66	350
Machine à mortaiser . . .	0,50	150

Machines pour le travail des métaux

DÉSIGNATION DES MACHINES	FORCE nécessaire en chevaux
Tours	0,4 à 3
Machines à percer	0,1 à 1
» à raboter	0,2 à 2,50
» à fraiser	0,1 à 0,7
Cisailles et poinçonneuses	0,3 à 8
Machines à tarauder et à fileter.	0,5 à 1,5
Meules à aiguiser et à polir.	0,3 à 5

Alliages employés dans les machines

Désignation des alliages	Composition				
	Cuivre	Etain	Zinc	Antimoine	Plomb
Bronze pour sifflets	80	18	»	2	»
» pour cloches	77	21	»	2	»
Cuivre pour doublage des navires	54	45	1	»	»
Laiton ordinaire	65	»	35	»	»
» pour tubes de chaudières	90	»	10	»	»
» anglais pour frottement	60	3	37	»	»
Caractères d'impression très durs	2,5	2,5	»	28	67
» plus tendres	»	»	»	20	80
Antifriction pour presse-étoupe	»	14	»	10	76
» pour autres pièces (coussinets)	8	72	»	13	7

Composition des soudures

Désignation	Etain	Plomb	Cuivre	Zinc
Soudure des plombiers	1 partie	2 parties	»	»
» des ferblantiers	2 parties	1 partie	»	»
» des chaudronniers (forte)	»	»	52 à 65 (à limaille)	48 à 35
» » (tendre)	»	»	25	75

Nota. — Pour faciliter la soudure du fer et de l'acier, il existe des poudres et des plaques soudantes avec trames métalliques.

Composition des mastics pour joints

Mastic rouge au minium	*Céruse* = 1 partie que l'on délaye dans l'huile pour former une pâte épaisse. *Minium* = 1 partie. On bat le mélange avec un marteau. — Ce mastic se conserve frais quand on le maintient dans l'eau.
Mastic de fonte. . .	Tournure de fonte non rouillée . . . . . = 20 parties Fleur de soufre . . . = 1 » Sel ammoniac. . . . = 1 » On mélange intimement la tournure de fonte avec la fleur de soufre, puis on mouille le mélange avec le sel ammoniac dissous dans l'eau. Ce mastic doit être employé de suite.
Mastic pour hautes températures	Limaille de fer ou tournure de fonte non rouillée = 7 parties + argile grasse pulvérisée. Arroser avec du vinaigre ou de l'eau acidulée.
Mastic pour cacher les défauts des pièces de fonte	66 tournure de fonte + 24 cire vierge + 6 résine + 4 suif.

Retrait linéaire des métaux fondus

	R =	
Fonte.	0,0104	Retrait linéaire = R
Acier fondu	0,0140	Retrait en surface = 2 R
Fonte malléable. . . .	0,0208	Retrait en volume = 3 R
Laiton	0,0154	Volume de la pièce fondue = V (1 — 3R)
Bronze des canons . . .	0,0075	V = volume du modèle.
Zinc	0,0161	
Etain	0,0078	
Plomb	0,0109	

Nota. — Le retrait linéaire est égal à la différence qui existe, par chaque mètre de longueur, entre deux dimensions homologues du modèle et de la pièce fondue.

SÉRIE DE PRIX

RELATIVE

AU REMPLACEMENT DU BALLAST D'UN CHEMIN DE FER

(Les indemnités de terrain étant à la charge de la Compagnie).

***Premier exemple.* — La ballastière est en tranchée.**

		fr. c
Fouille de déblais de vieux ballast ou de terrain naturel jusqu'à 0m,50 au-dessous des rails	1m3	0,80
Fouille pour reprise après au moins quinze jours de dépôt de vieux ballast ou de terre	1m3	0,15

(Il ne sera pas compté de fouille si la reprise a lieu avant quinze jours de dépôt.)

Découverte de ballastière ou enlèvement des dépôts de galets ou autres pour fouille, charge, transport, reprise, jets de pelle, déchargement, régalage, tous faux frais.	1m3	0,50
Ballast de la sablière de..... fourni et employé, pour fouille, triage, charge en wagons, jets de pelle, déchargement, jets de pelle pour l'emploi, mise au profil, régalage, toutes mains-d'œuvre et sujétions telles que pose, entretien, ripage, les transports étant faits par la Compagnie. .	1m3	1,20
Jet de pelle jusqu'à 4 mètres de distance horizontale ou 2 mètres de hauteur verticale, ou chargement en brouette, y compris le déchargement et toutes sujétions. .	1m3	0,20
Régalage simple de vieux ballast	1m3	0,05

Transport à la brouette de déblais de toute nature :

Par relai jusqu'à 30 mètres	1m3	0,20
Au-delà de 30 mètres on comptera des fractions de relai de 5 mètres. Pour les transports en rampe on ajoutera à la distance douze fois la hauteur verticale entre le centre de gravité des déblais et celui des remblais.		
Transport en wagonnet de déblais de toute nature, tout compris, par 100 mètres parcourus par les wagonnets chargés	1m3	0,07
Les longueurs au-dessous de 10 mètres ne seront pas comptées. Les longueurs de 10 mètres et au-dessus seront comptées pour 20 mètres.		
Chargement en wagon ou en wagonnet de déblais, sur la voie exploitée, y compris toutes sujétions . . .	1m3	0,30
Déchargement de wagonnets de déblais, y compris toutes sujétions.	1m3	0,15

Déchargement de wagons de déblais et emploi en remblai jusqu'à 5 mètres de distance de la voie de déchargement, compris régalage, ripage et toutes sujétions. . . 1m3 0,25

Relevage de voie, compris garnissage, bourrage, dressage, mise au profil de la voie et du ballast.

1 mètre courant de voie. 0,35

Deuxième exemple. — Le ballast est obtenu par dragages.

Exposé de la mise en dépôt du ballast.

Une drague tire le ballast de la Garonne et en remplit les bennes placées dans un bateau. Un remorqueur amène le bateau chargé au pied d'une grue pivotante à vapeur située sur le bord du fleuve. La grue soulève les bennes et les décharge dans des wagonnets qui sont amenés au dépôt, à 200 mètres environ du bord de la Garonne, par traction mécanique produite par un câble en fil de fer actionné par une machine fixe de 15 chevaux. La hauteur d'ascension des wagonnets est de 15 mètres environ pour arriver au dépôt de gravier où ils sont déchargés.

5 Wagonnets chargés sont montés en dix minutes.

Capacité de 1 wagonnet = capacité de 1 benne = 1m3,600.

Poids de 1 wagonnet vide = 1.300 kilogrammes.

Des cliquets de sûreté sont installés sur 1 essieu de chaque wagonnet de façon à enrayer les roues dans le cas de rupture d'attelage ou du câble.

Le train de travaux est fourni par la Compagnie. La première installation des voies de chargement de la ballastière, les frais de transport du ballast et des déblais sont à la charge de la Compagnie.

1m3 de ballast tiré de la Garonne, amené en dépôt à la sablière compris tous faux frais, accessoires et toutes sujétions . . . . . 2'00

1m3 de déblais au-dessus des traverses de la voie, y compris toutes sujétions 0,50

1m3 de déblais au-dessous des traverses de la voie, y compris toutes sujétions 1,00

1m3 de déblais dans l'argile, y compris toutes sujétions . 2,50

1m3 de déblais dans les chaussées empierrées des P. N. y compris toutes sujétions. 3,00

1m3 de ballast pris au dépôt pour fouille, charge, ripage des voies, y compris toutes sujétions 0,80

Jet de pelle jusqu'à 4 mètres de distance et 0,50 de hauteur ou chargement en brouette et déchargement. . . 0,20

Dressement des talus de remblais 1m2 0,05

Dressement des surfaces horizontales	1^{m2}	0f03
Chargement en wagon ou en wagonnet de déblais pris à 2^m,50 du rail de la voie de chargement.	1^{m3}	0,30
Déchargement de wagonnet de déblais jusqu'à 3 mètres de l'axe de la voie		0,15
Déchargement de wagon de déblais, jusqu'à 3 mètres de l'axe de la voie		0,25
Dressement et mise au profil du ballast, le mètre courant de voie.		0,35
Relevage jusqu'à 25 centimètres, le mètre courant de voie.		0,55
Fourniture de panneaux en bois de sapin de $2^m \times 0{,}80 \times 0{,}03$ pour recouvrir les fossés — pour premier emploi — les panneaux restant à la compagnie.	1^{m2}	2,20
Remplois successifs des panneaux précédents. le mèt. cour.		0,06

SOUS-DÉTAILS

DES PRIX DE REVIENT ÉLÉMENTAIRES

DES OUVRAGES D'ART

Extrait du Bordereau des Prix de la ligne de Brou à Bessé
(Chemins de fer de l'Etat — 1880)

1^{m3} de déblai du corps du chemin de fer, des chemins créés ou déviés, dérivations ou fouilles de fondations des ouvrages d'art, quelle que soit leur profondeur, avec ou sans épuisements, mis en œuvre.

	fr. c.
FOUILLE ET CHARGE :	
2^h,80 de terrasier à 0f,40. . . .	1,12
Préparation du sol, régalage, pilonnage et règlement définitif des talus et plate-forme (ensemble)	0,25
TRANSPORT ÉTABLI CONFORMÉMENT AU DÉTAIL CI-APRÈS :	
Il résulte du mouvement des terres que les transports se répartissent comme suit (Voir les formules du transport des terres) :	
1° Déblais transportés à la brouette à 24 mètres	
A reporter	1f37

Report . . .		1f37
38.041m3 à 0f,192 (formule A). . .	73 03,87	
2o Déblais transportés au tombereau à 210m		
32.907m3 à 0f,46 (formule B). . .	15 137,22	
3o Déblais transportés au wagon à 380 mèt.		
135.201m3 à 0f,652 (formule C). . .	88 151,05	
206.149m3	110 592,14	
Le prix moyen du transport par 1m3 est donc : $\frac{110.592^f,14}{206.149} = 0^f,536$		0,54

FRAIS ACCESSOIRES :

1o Indemnité pour emprunt de 259m3 à 0f,20 = .	51,80	
2o Indemnité pour dépôt de 893m3 à 0f,20 = .	178,60	
3o Plus-value pour déblais avec épuisement dans les fondations du pont de..... 1.855m3 à 7f,50=	13 912,50	
4o Plus-value pour les fondations des piles du viaduc de.....191m3,72 2f,50 = ...	479,30	
5o Plus-value pour déblais avec blindages dans les fondations du viaduc de..... (culées Brou et Bessé, piles nos, ...) 4.228m3,23 à 6f,50 = ...	27.483,49	
6o Plus-value pour déblais avec blindages et épuisements dans les fondations du viaduc de... (culée Bessé, piles nos) 2.434m3,20 à 9f,00 .	21.907,80	
A reporter .	64.013f49	1f91

	Report . .	64.013'49	1'91
	7° Reprise des déblais des fouilles de fondations du pont de... et du viaduc de .. pour comblement de ces fouilles 2.860^{m3} à 0',30	858,00	
	Total	64.871,49	
	qui, répartis sur l'ensemble des déblais donnent pour 1^{m3} une plus-value de $\frac{64.871 \text{ fr. } 49}{206.149} = 0$ fr.314		
	ci, ...		0,31
			2,22
	Outils et faux frais 1/20.		0,11
			2,33
	Bénéfice 1/10 . .		0,23
			2,56
Pilonnage de 1^{m3} de remblais de toute nature.	0 h,40 de terrassier à 0,40 =		0,16
	Outils et faux frais 1/20 . .		0,01
			0,17
	Bénéfice 1/10 . . .		0,02
			0,19
1^{m2} de gazonnement à plat sur les talus.	Fourniture du gazon, indemnité de dégazonnement comprise		0,20
	Mise en réserve, reprise, transport et mise en œuvre avec garnissage en terre végétale		0,30
			0,50
	Outils et faux frais 1/20 . .		0.02
			0,52
	Bénéfice 1/10 . . .		0,05
			0,57

1m linéaire de banquettes gazonnées.	Confection du remblai, fourniture, transport et mise en œuvre des gazonnements avec garnissage en terre végétale, fourniture et pose de moellons de pied, ainsi que la pose des tuyaux destinés à l'écoulement des eaux	2 »	
	Outils et faux frais 1/20. .	0,10	
		2,10	
	Bénéfice 1/10 . . .	0,21	
			2,31
1m3 de pierre cassée pour chaussée.	Droit de carrière et du passage et extraction ou ramassage	2 »	
	Cassage et nettoyage : six heures de manœuvre à 0 f. 40.	2,10	
	Chargement en voiture et déchargement : 1 heure de manœuvre à 0 f. 40. . . .	0,40	
	Transport à 1.000m de distance réduite : 0,25 + 0,001 × 1000 (formule B)	1,25	
	Emmétrage : 0 h, 50 de manœuvre à 0 f. 40. . . .	0,20	
			6,25
1m2 de chaussée d'empierrement de 0m,15 d'épaisseur.	Préparation de la forme et règlement des accotements : 0 h, 50 de terrassier à 0 f. 40	0,20	
	0m3, 165 de pierre cassée à 6 f. 25 (S. D. précédent).	1,03	
	Emploi et entretien jusqu'à réception définitive, y compris fourniture de la matière d'agrégation	0,25	
		1,48	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,07	
		1,55	
	Bénéfice 1/10 . . .	0,15	
			1.70

1m² de chaussée d'empierrement de 0,20.	Préparation de la forme et règlement des accotements:		
	0 h,50 de terrassier à 0 f. 40.	0,20	
	0m³,22 de pierre cassée à 6 f. 25 (S. D. précédent) . . .	1,37	
	Emploi et entretien jusqu'à réception définitive, y compris fourniture de la matière d'agrégation.	0,50	
		2,07	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,10	
		2,17	
	Bénéfice 1/10 . . .	0,22	
			2,39
1m³ de sable lavé à pied d'œuvre.	Indemnité de toute nature, extraction, chargement, transport au lavoir et déchargement, ensemble		7,00
1m³ de sable non lavé à pied d'œuvre.	Indemnité de toute nature, extraction, chargement, transport à pied d'œuvre et déchargement (ensemble) .		4,50
1m³ de chaux hydraulique de Trogues en poudre à pied d'œuvre.	1.000 k. chaux, rendus sur wagon en gare de Ste-Maure	23,30	
	Transport par chemin de fer de Trogues à St-Calais, P. O. 126 k, à 0 f. 05	6,30	
	Manutention à l'arrivée et frais de gare.	0,50	
	Transport au chantier à 13 k, et déchargement (prix du pays)	5,20	
		35,30	
	1m³ de chaux pesant 680 k, vaudra donc à pied d'œuvre: $\frac{680 \times 35\text{ f. }30}{1.000}$ = . . .		24,00

1000 k de ciment de Portland à pied d'œuvre.	La tonne de ciment de Portland (marque Longuéty et Ce) vaudra rendue à pied d'œuvre .	110,00
1m3 mortier de chaux hydraulique et de sable lavé.	0m3,90 de sable à 7 francs (S. D. précédent) . . .	6,30
	0,50 chaux en poudre à 24 fr. (S. D. précédent) . . .	13 »
	Façon: 4 h. de servant de maçon à 0 f. 40. . . .	1,60
		19,90
1m3 mortier de ciment et sable lavé.	1m3 de sable à 7 francs . .	7 »
	650 k. de ciment à 0 f. 11 (S. D. précédent) . . .	71,50
	Façon: 6 h. de servant de maçon à 0 f. 40.	2,40
		80,90
	Le mortier ainsi composé produisant une augmentation de 0,08 pour 1m3 de sable employé, 1m3 vaudra : $\frac{80,90}{1,08}$ = ...	74,91
1m3 de maçonnerie de pierre de taille de Vallenay, y compris le ragrément et le rejointoiement des parements vus.	1m3,10 de pierre de taille ébauchée des carrières de Vallenay sur wagon en gare de Bigny (Cher) à 35 f. 75 l'un	39,32
	Transport par chemin de fer de Bigny à St-Calais. P. O. 265 km. à 0,04 la tonne et par km. la pierre de Vallenay pesant 2T,50, le transport de 1m3,10 vaudra :	
	$1,10 \times 2,5 \times 265 \times 0,04 =$	29,15
	Manutention à l'arrivée et frais de gare, 0 fr. 50 par tonne soit pour 1m3,10 :	
	$1,10 \times 2,50 \times 0,50$. .	1,37
	Transport au chantier à 13 km. (prix du pays)	12,00
	A reporter. . . .	81f84

	Report.	81f84
	Déchargement: 2 h. de manœuvre à 0 fr. 40 . . .	0,80
	0,m3,10 de mortier à 19 fr. 90 (S. D. précédente) . . .	2,00
	Façon comprenant : bardage, pose, fichage, ragrément et rejointoiement de parements vus :	
	10 h. de { 1 maçon à 0 fr. 60	6,00
	10 h. de { 1 servant de maçon à 0 fr. 40.	4,00
		94,64
	Outils et faux frais 1/20 . .	4.73
		99,37
	Bénéfice 1/10.	9,94
		109,31
1m3 de maçonnerie de granit, y compris le ragrément et le rejointoiement des parements vus.	1m3 de granit ébauché rendu sur wagon en gare d'Alençon.	100,00
	Transport à Saint-Calais des 1000 k., par le Mans et Connéré, prix ferme 6 fr. 90	
	Le m3 de granit pesant 2T,7, le prix du transport de 1m3 d'Alençon à St-Calais sera 2,7 × 6 fr. 90	18,63
	Manutention à l'arrivée et frais de gare 0 fr. 70 × 2,7	1,89
	Transp. au chantier à 10k,500 (prix du pays)	11,00
	Déchargement : 2 h. de manœuvre à 0 fr. 40 . . .	0,80
	0m3,10 de mortier à 19 fr. 90	2,00
	Façon comprenant : bardage, pose, fichage, ragrément et rejointoiement de parements vus :	
	10 h. de { 1 maçon à 0 f. 60	6,00
	10 h. de { 1 servant de maçon à 0 fr. 40. .	4,00
	Frais de levage et d'échafaudage extraordinaires. . .	5,00
	A reporter. . .	149,32

	Report. . . .	149'32
	Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .	7,47
		156,79
	Bénéfice $^1/_{10}$.	15,68
		172,47

1m³ de maçonnerie de pierre de taille, y compris le ragrément et le rejointoiement des parements vus.

1m³,10 pierre de taille ébauchée à pied d'œuvre à 50 fr. .		55,00
0m³,10 de mortier à 19 fr. 90		2,00
Façon comprenant : bardage, pose, fichage, ragrément et rejointoiement de parements vus :		
10 h. de	1 maçon à 0 fr. 60	6,00
	1 servant de maçon à 0 fr. 40.	4,00
		67,00
Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .		3,35
		70,35
Bénéfice $^1/_{10}$.		7,03
		77,38

1m³ de maçonnerie de libages, y compris le jointement des parements.

1m³ libages, y compris dressage des lits et joints à la pointe, à pied d'œuvre		50,00
0m³,12 de mortier à 19 fr. 90		2,39
Façon : 8 h. de	1 maçon à 0 fr. 60	4,80
	1 servant de maçon à 0 fr. 40 .	3,20
		60,39
Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .		3,02
		63,41
Bénéfice $^1/_{10}$		6,34
		69,75

1m³ de maçonnerie de moellon parementé, y compris le rejointoiement des parements vus.

1m³ de moëllons parementés, taille du parement comprise, à pied d'œuvre		45,00
0m³,26 de mortier à 19 fr. 90		5,17
Façon : 7 h. de	1 maçon à 0 fr. 60	4,20
	1 servant de maçon à 0 fr. 40.	2,80
	A reporter .	51,17

	Report . .	51,17
	Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .	2,86
		60,03
	Bénéfice $^1/_{10}$	6,00
		66,03

1m3 de maçonnerie de moellons tétués, à joints irréguliers, y compris le rejointoiement des parements vus.

1m3 de moellons tétués, taille comprise, à pied d'œuvre .		22,00
0m3,33 de mortier à 19 fr. 90		6,57
Façon : 7 h. de	1 maçon à 0 fr. 60	4,20
	1 servant de maçon à 0 fr. 40.	2,80
		35,57
Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .		1,78
		37,35
Bénéfice $^1/_{10}$		3,73
		41,08

1m3 de maçonnerie de moellons ordinaires, y compris le rejointoiement des parements.

1m3,10 de moellons ordinaires à 6 fr. l'un, à pied d'œuvre		6,60
0m3,40 de mortier à 19 fr. 90		7,96
Façon : 4 h. de	1 maçon à 0 fr. 60	2,40
	1 servant de maçon à 0 fr. 40.	1,60
		18,56
Outils et faux frais $^1/_{20}$. .		0,93
		19,49
Bénéfice $^1/_{10}$		1,95
		21,44

1m3 de maçonnerie de briques avec mortier de ciment, y compris le rejointoiement des parements vus.

630 briques à 50 fr. le 1000, à pied d'œuvre		31,50
0m3,32 de mortier à 74,91 .		23,97
Façon : 11 h. 50 de	1 maçon à 0 fr. 60	6,90
	1 servant de maçon à 0 fr. 40.	4,60
		66,97
Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .		3,35
		70,32
Bénéfice $^1/_{10}$		7,03
		77,35

1m² de parement vu de pierre de taille.	Taille de parement vu, y compris le parfait dressage à la pointe des lits et joints : 10 h. de tailleur de pierre à 0 fr. 65.	6,50	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,32	
		6,82	
	Bénéfice 1/10	0,68	
			7,50
1m² parement vu de granit.	Taille du parement vu, y compris le parfait dressage à la pointe des lits et joints : 18 h. de tailleur de pierre à 0 fr. 65	11,70	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,58	
		12,28	
	Bénéfice 1/10.	1,23	
			13,51
1m² Chape en mortier hydraulique de 0,05.	0m³,053 de mortier hydraulique à 19 fr. 90	1,05	
	Façon : 0 h. 40 de : 1 maçon à 0 fr. 60.	0,24	
	Façon : 0 h. 40 de : 1 servant de maçon à 0 fr. 40 .	0,16	
		1,45	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,07	
		1,52	
	Bénéfice 1/10	0,15	
			1,67
1m² de chape de 0,10 d'épaisseur avec emploi de sable de Sargé, y compris un revêtement en asphalte de 0,015.	Couche en béton fin de 0m,065 : 0m³,052 de menus graviers à 2 f. 50 à pied-d'œuvre . .	0,13	
	0m³,039 de mortier à 24 f. 81	0,97	
	Façon : 0 h. 80 de : 1 maçon à 0 f. 60.	0,48	
	Façon : 0 h. 80 de : 1 servant de maçon à 0 f. 40 . .	0,32	
	Couche en mortier de 0m,02 : 0m³,022 de mortier à 24 f. 81	0,55	
	Façon : 0 h. 30 de : 1 maçon à 0 f. 60.	0,18	
	Façon : 0 h. 30 de : 1 servant de maçon à 0 f. 40 .	0,12	
	A reporter. .	2,75	

	Report . . .	2,75	
	Couche en asphalte de 0m,015 :		
	Fourniture et façon (ensemble)	5,00	
		7,75	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,39	
		8,14	
	Bénéfice 1/10	0,81	
			8,95
1m2 *de maçonnerie de dalles ébauchées de 0,20.*	1m2 de dalles à pied-d'œuvre.	12,00	
	0m3,025 de mortier hydraulique à 19 f. 90	0,50	
	Façon : 1 h. de : 1 maçon à 0 f. 60.	0,60	
	1 servant de maçon à 0 f. 40 .	0,40	
		13,50	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,67	
		14,17	
	Bénéfice 1/10	1,42	
			15,59
1m2 *de pavage à sec en pavés d'échantillon sur forme de sable de* 0,10.	48 pavés à 250 fr. le 1.000 à pied-d'œuvre.	12,00	
	0m3,25 de sable non lavé à 4 fr. 50	1,12	
	Façon : 1 h. 50 de : 1 paveur à 0 f. 60	0,90	
	1 servant de paveur à 0 f. 40.	0,60	
		14,62	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,73	
		15,35	
	Bénéfice 1/10	1,53	
			16,88
1m2 *de perrés à pierres sèches de* 0,40.	0,48 de moellons ordinaires à 6 fr.	2,88	
	Façon : 2 h, 50 de : 1 maçon à 0 f. 60.	1,50	
	1 servant de maçon à 0 fr. 40 . .	1,00	
		5,38	
	Outils et faux frais 1/20 . .	0,27	
		5,65	
	Bénéfice 1/10	0,56	
			6,21

1m³ *remplissage à sec ou enrochements.*

1m³ moellons ordinaires ou débris de carrières à pied-d'œuvre	4,00	
Façon : 4 heures de manœuvre à 0 fr. 40	1,60	
	5,60	
Outils et faux frais 5/100 . .	0,28	
	5,88	
Bénéfice 1/10	0,59	
		6,47

1m³ *de béton de sable mis en œuvre.*

1m³ de sable lavé à pied-d'œuvre	7,00	
0,20 de chaux en poudre à 24 fr.	4,80	
Façon et mise en œuvre 4 heures de { 1 maçon à 0,60 ; 1 servant de maçon à 0 f. 40	2,40 / 1,60	
	15,80	
Outils et faux frais 1/20 . .	0,79	
	16,59	
Bénéfice 1/10	1,66	
		18,25

1m³ *de béton de ciment mis en œuvre pour les sommiers des voûtes en briques.*

0m³,8 de menue pierre cassée à pied-d'œuvre à 7,50 . .	6,00	
0m³,6 de mortier de ciment à 71 fr. 91	44,95	
Façon et mise en œuvre 5 h. 50 de { 1 maçon à 0,60 ; 1 servant de maçon à 0,40	3,30 / 2,20	
	56,45	
Outils et faux frais 1/20 . .	2,82	
	59,27	
Bénéfice 1/10	5,93	
		65,20

1m³ *de bois de charpente provisoire mis en œuvre pour cintres*

1m³ bois de charpente à pied-d'œuvre, y compris déchet, le bois restant à l'entrepreneur après emploi . . .	45,00	
A reporter . .	45,00	

ou coffrages de fondations. le bois restant à l'entrepreneur après l'emploi, pour le premier emploi.

	Report.. . .	45,00
	Mise en œuvre comprenant : façon, mise en place et décintrement, démolition et enlèvement : 10 h. de charpentier à 0 fr. 65	26,00
		71 00
	Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .	3,55
		74,55
	Bénéfice $^1/_{10}$	7,45
		82,00

Battage de 1ml de pièce d'enceinte de 0m,25 de diamètre.

	Battage de 1m courant de pierre y compris la mise en fiche :	
	2 h. de 1 charpentier à 0,65	1,30
	2 h. de 6 manœuvres à 0,40	4,80
	Location de la sonnette, échafaudages, graisse, cordages, etc., etc..	2,00
		8,10
	Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .	0,40
		8,50
	Bénéfice $^1/_{10}$	0,85
		9,35

Préparation et récépage de 1m linéaire de palplanches de 0m,15 d'épaisseur.

	Affûtage, dressage, pose de la frette et du sabot et récépage :	
	4 h. de charpentier à 0 fr.65.	2,60
	Outils et faux frais $^1/_{20}$ . .	0,13
		2,73
	Bénéfice $^1/_{10}$	0,27
		3,00

Prix de revient des Ouvrages d'art

PRIX DE REVIENT DES TUNNELS AU MÈTRE COURANT

Désignation de l'ouvrage	Nombre de voies	Longueur	Prix de revient au mèt. courant
Tunnel de la route du Lioran	»	1.400m	955f
» du Lioran (ligne de Murat)	1 2	1.958	923
Tunnel du Crozet	2	227	1.340
» du Vierzy.		1.400	1.200

DIMENSIONS PRINCIPALES					PRIX A APPLIQUE			
					Avec matériaux granitiques			
	Hauteur sous clef		Hauteur de l'ouvrage en dessous de la plinthe		Pour le minimum de longueur		Pour une longueur L entre les têtes	
Ouverture	avec murs en retour	avec murs en aile	avec murs en retour	avec murs en aile	avec murs en retour	avec murs en aile	avec murs en retour	avec murs en aile
1.00	1.20	2.00	2.10	2.90	1150 f.	2.200	750+ 70 L	1500+120 L
2.00	1.60	3.00	2.60	4.00	2300	4.300	1400+150 L	2700+260 L
3.00	2.00	3.50	3 00	4.50	3100	5.200	1800+220 L	3400+300 L
4.00	3.00	5.00	4.00	6.00	6300	10.000	3500+470 L	6000+670 L
5 00	3.50	5,00	4.60	6.10	8800	11.800	5000+640 L	7100+790 L
6.00	4.00	5.00	5.15	6.15	10000	13.400	5800+720 L	8200+880 L

Ce sont les types de la Compagnie d'Orléans, sauf quelques différence de l'ouvrage de 1 mètre, est fait en maçonnerie brute avec un simple rejoi parement intérieur est construit en moellons tétués, et enfin que pour 4 mètre lons paramentés.

L'introduction de ce dernier genre de maçonnerie explique la grand tres et ceux de 4 mètres d'ouverture.

PONTS PAR DESSUS O

Dimensions principales		PRIX A APPLIQUER PAR OUVRAGE			
		avec matériaux granitiques		avec matériaux calcaires	
Ouverture	Hauteur	pour chemins vicinaux (4 m.)	pour routes nationales (8 m.)	pour chemins vicinaux (4 m.)	pour routes nationales (8 m.)
13	6.50	12000 f.	15500 f.	10600 f.	13600 f.
16	6.60	13000	17000	11400	15000
20	10.50	16000	20000	14000	17600

OUVRAGE

Avec matériaux calcaires

ur le minimum le longueur		Pour une longueur L entre les têtes	
en retour	avec murs en aile	avec murs en retour	avec murs en aile
000	1900	600+ 70 L	1200+120 L
000	3600	1100+140 L	2200+240 L
500	4500	1400+260 L	2800+280 L
400	8800	2800+440 L	5000+640 L
500	10500	4000+600 L	6000+750 L
800	12000	4800+675 L	7000+840 L

les hauteurs. On admet que le corps ient ; que de deux à trois mètres, le verture et au-dessus, il est fait en moel-

ence de prix entre les ponts de 3 mè-

OBSERVATIONS

Les prix pour le minimum de longueur correspondent aux ouvrages à une voie pour lesquels il n'y a pas de remblai à faire au-dessus des têtes. Dans ce cas le dessus de la plinthe correspond au niveau des terrassements.

Dans les estimations, les chiffres donnés par les formules doivent être arrondis.

Lorsque la hauteur du remblai sur l'ouvrage dépasse 6 mètres, il est nécessaire d'augmenter les épaisseurs de maçonneries portées au type et pour en tenir compte, il conviendra dans ce cas d'augmenter de 1/10 le coefficient de L qui correspond au prix du mètre linéaire entre les têtes.

. EN MAÇONNERIE

OBSERVATIONS

a hauteur de l'ouvrage est mesurée entre le dessus des rails et le s de la chaussée. Les ponts sont tous à culées perdues. L'ouverture de . s'applique aux chemins à une voie, celle de 16 m. aux chemins à 2 , et celle de 20 m. aux tranchées profondes. La largeur de 4 m. s'ap-e aux ponts pour simples chemins vicinaux et celle de 8 m. aux routes nales. Il sera facile de déduire des prix ci-contre ceux qui s'applique-t aux chemins de grande communication (5 m.) et aux routes départe-ales (7 m.).

TABLEAU DES POIDS ET DES PRIX RELATIFS A QUELQUES PONTS MÉTALLIQUES.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	OUVERTURE	POIDS de la partie métallique	POIDS par mètre courant	PRIX de la partie métallique	PRIX par mètre courant
Ligne d'Orléans à Châlons — Pont sur l'Yonne, à Sens	220 m	492,386 k	2.238 k	278.386 f	1.265 f
Ligne d'Orléans à Châlons — Pont sur le Loing	70	124 210	1.774	64 589	923
Ligne d'Orléans à Châlons — Pont sur le canal d'Orléans	30	50.650	1.688	26 338	878
27 tabliers à 2 voies (Ligne de Bordeaux à Cette)	de 3 à 30 m. (183 m. de long. totale)	321.250	1.756	264.170	1.444
Pont de Valentine (2 voies)	70	296.067	4.230	184.538	2 636
Pont de Bordeaux sur la Garonne (2 voies)	506	2.948 945	5.831	1.950.145	3.856

NOTIONS DE MINÉRALOGIE

Le centre de la terre est un noyau fluide.

La température augmente de 1° par 33 mètres de profondeur ; c'est ce qu'on nomme le *degré géothermique.*

La densité moyenne de la terre est de 5,50 environ.

Caractères distinctifs des minéraux.

1° Caractères géométriques.

Se rapportent aux cristallisations.

Six systèmes cristallins :

1° *Système cubique.* — 3 axes rectangulaires identiques : *Sel marin, Alun.*

2° *Système du prisme droit à base carrée.* — 3 axes rectangulaires, dont 1 différent des 2 autres : *Oxyde d'étain.*

3° *Système du prisme droit à base rectangle.* — 3 axes rectangulaires non identiques : *Soufre natif.*

4° *Système du prisme droit à base parallélogramme.* — 3 axes non identiques ; 2 obliques et le 3e perpendiculaire au plan des deux autres : *Gypse.*

5° *Système du prisme oblique à base parallélogramme* : — *Sulfate de cuivre* à 5 équivalents d'eau.

6° *Système du prisme hexagonal droit.* — 4 axes, dont 3 faisant des angles de 60°, et le 4e perpendiculaire au plan des 3 autres : *Quartz ou cristal de roche — Spath d'Islande.*

Remarque. — Si un cristal n'a pas toutes ses faces, on reconnaîtra qu'il est d'un des 6 systèmes par l'in-

clinaison des faces les unes sur les autres, donnée par la mesure des angles dièdres.

Dimorphisme.

Certains corps, placés dans des conditions différentes, cristallisent dans 2 systèmes.

Le soufre cristallise dans le 3e et le 5e système, suivant qu'il se trouve à la température ordinaire ou à sa température de fusion (110°).

Le carbonate de chaux cristallise dans le 3e système à 100° (*arragonite*), et dans le 6e à froid (*Spath d'Islande*).

Isomorphisme.

Les carbonates de chaux ($Cao.Co^2$)
» magnésie ($Mgo.Co^2$)
» manganèse ($Mno.Co^2$)
» fer ($Feo.Co^2$)

sont isomorphes; ils peuvent exister en proportion quelconque dans un même cristal.

Les phosphates et arséniates isomorphes ont également des compositions chimiques semblables.

2°. — Caractères physiques

Densité. — Dureté. — Propriétés optiques. — Propriétés magnétiques. — Propriétés électriques.

Le *spectroscope* joue un rôle très important dans les analyses.

Le *sodium* donne une raie jaune ;

Le *lithium* donne une raie rouge et une raie jaune oranger ;

Le *cuivre* donne trois raies vertes ;

Le *zinc* donne une raie rouge et deux raies bleues ;

La *tourmaline* s'électrise par la chaleur, c'est un silicate complexe d'alumine, de fer, de manganèse, etc.

3° Caractères extérieurs

Transparence ou opacité. — Couleur. — Eclat. — Son
Texture. — Cassure. — Toucher. — Odeur. — Saveur.

Toucher rude : roche volcanique, lave ;

Toucher doux : silicate de magnésie, talc ou savon des montagnes ;

Odeur terreuse : argile ;

Odeur aillacée : arsenic ;

Rouge vermillon : cinabre ou sulfure de mercure ;

Rouge aurore : réalgar ou sulfure d'arsenic ;

Rouge cerise : poudre de peroxyde anhydre de fer ;

Bleu : carbonate de cuivre hydraté ou azurite ;

Rose : cobalt arseniaté ;

Vert émeraude : malachite ou second carbonate de cuivre hydraté ;

Violet : oxyde de manganèse ;

Vert gazon : silicate de fer hydraté.

Essais des minéraux au chalumeau

Cette méthode est basée sur ce que le phosphate double de soude et d'ammoniac et le borate de soude ou borax dissolvent toutes les autres substances à l'exception des silicates. On en fait une perle avec la matière à essayer à l'extrémité d'un fil de platine. La couleur de la perle est un indice précieux. Le charbon est employé comme réducteur.

L'emploi de l'acide chlorhydrique est très répandu ; s'il y a effervescence on a affaire à un carbonate.

On trouve dans les livres de chimie un plan général des essais au chalumeau.

Propriétés de quelques roches

Granit : composé de quartz, mica et feldspath.

Les deux premiers éléments sont insensibles aux

agents atmosphériques ; le troisième, le feldspath qui est composé de silicate d'alumine et de silicate alcalin tend à dissoudre dans l'eau son silicate alcalin. Le feldspath est donc la cause de la désagrégation du granit.

Le granit est employé comme pierre de taille.

Porphyre : composé d'une pâte amorphe dans laquelle sont noyés des grains de feldspath qui est désagrégé par l'eau, l'oxygène et l'acide carbonique.

De couleur rouge ; forme de belles pierres.

Basalte ; composé d'une pâte compacte englobant des cristaux microscopiques d'augite (*noirâtre*) et de labrador (*blanc*). De couleur noir bleuâtre. — Sert de pierre de taille (Cantal).

Le basalte en se solidifiant a éprouvé un retrait, et la masse s'est divisée en prismes hexagonaux. Cela tient à ce que le triangle équilatéral, le carré et l'hexagone sont les seuls polygones réguliers qui puissent servir à diviser un plan en parties égales entre elles (*Voir la géométrie plane*). L'hexagone possédant le périmètre minimum pour une surface donnée, l'effort de séparation nécessaire à la production du prisme hexagonal est moindre que celui qui serait nécessaire pour avoir des prismes à base carrée ou triangulaire.

Remarque. — La sphère ne peut être divisée par des grands cercles qu'en triangles équilatéraux, en quadrilatères à angles de 120°, en pentagones réguliers.

Le pentagone régulier a le contour minimum pour une surface donnée ; il remplace donc sur la sphère l'hexagone sur le plan.

Il en résulte que si la terre s'était fracturée en tous points simultanément, au moment du refroidissement, sa surface se serait divisée en pentagones réguliers.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES PRINCIPAUX CORPS SOLIDES.

DÉSIGNATION	DENSITÉ	TEMPÉRATURE de fusion	COEFFICIENT de dilatation linéaire 0,0000
Acier trempé	7,82	1400 à 1500°	0.0000 130
Aluminium fondu	2,56	625	222
Alun potassique	1,90	»	»
Anthracite	1,40	»	»
Antimoine	6,72	432	108
Ardoise	2,70	»	»
Argent fondu	10,51	954	200
Arsenic	5,75	»	»
Alliage Darcet (5 Pb + 3Sn + 8 Bi)	»	94	»
Blende	4,09	»	»
Bismuth fondu	9,82	262	»
Bronze trempé	8,69	900	185
Basalte	2,80	»	»
Calcium	1,58	»	»
Chrome	5,90	»	»
Cinabre	8,16	»	»
Cobalt fondu	7,81	»	»
Cristal de roche	2,65	»	»
Cuivre fondu	8,85	1.054	178
Cuivre laminé	8,95	»	»
Diamant	3,51	»	»
Emeraude verte	2,69	»	»
Etain	7,29	233	228
Fer fondu	7,20	1.500	118
Fer forgé	7,79	1.600	118
Fonte de fer	7,21	1050 à 1200	110
Galène	7,43	»	»
Glace	0,92	0	»
Grès quartzeux	2,60	»	«
Graphite	2,16	»	»
Granit	2,69	»	»
Gypse	2,33	»	»
Houille compacte	1,33	»	»
Iode	4,95	107	»
Iridium fondu	22,40	»	»
Ivoire	1,92	»	»
Laiton	7,98	»	188
Liège	0,24	»	»

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES PRINCIPAUX CORPS SOLIDES

OBSERVATIONS	DENSITÉ	TEMPÉRATURE de fusion	COEFFICIENT de dilatation linéaire 0,0000
Lithium	0,59	»	0,0000 »
Magnésium	1,74	»	»
Manganèse	8,01	»	»
Maillechort	8,61	»	»
Mercure solide	14,39	— 40°	»
Marbre	2,71	»	»
Mispickel	5,64	»	»
Mica	2,92	»	»
Nickel fondu	8,28	»	»
Or fondu	19,26	1.045	140
» monnayé	19,26	1.180	»
Palladium fondu	11,30	»	»
Phosphore ordinaire	1,84	43	142
Phosphore rouge	2,10	»	»
Platine fondu	21,45	1.775	087
Platine écroui	23,00	»	»
Plomb	11,35	325	285
Porcelaine de Sèvres	2,24	»	»
Porphyre	2,78	»	»
Potassium	0,87	63	»
Pyrite	4,95	»	»
Sélénium	4,30	217	»
Silicium cristallin	2,65	»	»
Sodium	0,97	96	»
Sel gemme	2,26	»	»
Soufre natif octaédrique	2,07	115	»
Soufre prismatique	1,97	»	»
Strontium	2,54	»	»
Succin	1,08	»	»
Talc	2,71	»	»
Tellure	6,24	»	»
Tourmaline	3,12	»	»
Verre à vitres	2,53	»	090
Zinc	7,19	433	300

Nota.— Le coefficient de dilatation superficielle = 2 fois le coefficient de dilatation linéaire.

Le coefficient de dilatation cubique = 3 fois le coefficient de dilatation linéaire.

Propriétés physiques de quelques liquides

Désignation	Densité	Température		Coefficient de dilatation cubique
		de fusion	d'ébullition	
Eau à 4°	1	0°	100°	0,00043
Mercure à 0°	13,60	»	357	0,00018
Acide sulfurique SO^3, HO	1,85	— 34	326	»
» azotique AzO^5, HO	1,52	— 47	86	»
» chlorhydrique ClH, HO	1,21	»	110	»
Sulfure de carbone CS^2	1,26	»	46	0,00114
Benzine $C^{12}H^6$	0,89	»	»	»
Essence de térébenthine $C^{20}H^{16}$	0.86	»	»	0,00085
Alcool absolu $C^4H^6O^2$	0,815	— 90	78	0,00105
Ether acétique	0,89	— 36	75	0,00151
Esprit de bois ou alcool méthylique $C^2H^4O^2$	0,82	»	66	0,0012
Acide formique $C^2H^2O^4$	1,22	8	105	»
Acide acétique $C^4H^8O^8$, HO	1,06	16,5 concentré	118°,5	»
Eau de mer	1,03	— 2,5	104	»
Lait	1,03	»	»	»
Huile d'olive	0,92	»	»	»
Vin	0,99	»	»	»

Propriétés des principaux gaz

Désignation	Formules chimiques	Densités	Équivalents chimiques	Volumes gazeux	Températures de fusion	Températures d'ébullition
Air	»	1,000	»	»	»	»
Oxygène	O	1,105	7,94	1	»	— 181°
Hydrogène	H	0,069	1	2	»	»
Azote	Az	0.973	14	2	— 203	— 193
Chlore	Cl	2,47	35,5	2	— 75 (liquide)	— 33
Brôme	Br	5,54	80	2	»	»
Iode	I	8,83	127	2	113	176
Fluor	F	1,265	19	2	»	»
Soufre	S	2,23	16	1	»	»
Phosphore	Ph	4,30	31	1	»	»
Arsenic	As	10,43	75	1	210	»
Mercure	Hg	6,98	100	2	»	»
Acide chlorhydrique	HCl	1,278	36,5	4	»	— 35 (anhydre)
» bromhydrique	HBr	2,81	81	4	»	»
» iodhydrique	HI	4,44	128	4	»	128
» fluorhydrique	HF	0,695	20	4	— 40	30

Propriétés des principaux gaz (suite)

Désignation	Formules chimiques	Densités	Équivalents chimiques	Volumes gazeux	Températures de fusion	Températures d'ébullition
Vapeur d'eau	HO	0,624	9	2	»	»
Acide sulfhydrique	HS	1,182	17	2	— 85	— 62
Ammoniaque	AzH^3	0,591	17	4	— 80 (anhydre)	— 34
Hydrogène phosphoré	PhH^3	1 182	34	4	»	»
Protoxyde d'azote	AzO	1,530	22	2	— 99	— 88
Bioxyde d'azote	AzO^2	1,043	30	4	»	»
Acide azoteux	AzO^3	2,64	38	2	»	»
Acide hypoazotique	AzO^4	1,60	46	4	— 9	22
Acide sulfureux	SO^2	2,23	32	2	— 79	— 10
Oxyde de carbone	CO	0,973	14	2	»	»
Acide carbonique	CO^2	1,531	22	2	»	— 78
Cyanogène	C^2Az	1,808	26	2	— 34	— 21
Acide cyanhydrique	C^2AzH	0,939	27	4	— 14	26
Ether méthylique	$C^4H^6O^2$	1,598	46	4	»	»
Ether chlorhydrique	C^4H^5Cl	2,24	64	4	»	»

Nota. — Le coefficient de dilatation des gaz est sensiblement celui de l'air, c'est-à-dire 0,00367.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

Arithmétique et Algèbre.

	Pages
Généralités	1
Coefficients et données diverses	2
Monnaies françaises	3
Fractions. Problèmes de comptabilité	4
Proportions et rapports	4
Progression arithmétique	5
Sommation des piles de tuyaux ou de rails champignon	5
Progression géométrique. Problème	5
Intérêts composés. Applications	6
Annuités. Problème	6
Permutations. Problème	7
Sommations des piles de boulets	7
Equations du deuxième degré	8
Relation entre la valeur du trinôme et les racines	8
Equations bicarrées	8

Géométrie plane.

Angles. Sécantes. Tangentes	9
Mesure des angles d'un polygone	9
Application au carrelage des appartements	9
Trouver un point duquel deux droites soient vues sous des angles donnés	10

Propriétés des triangles.

Hauteurs. Perpendiculaires. Bissectrices. Médianes	11
Propriétés des triangles rectangles	12

Propriétés des polygones

Relations entre les diagonales et les côtés du parallélogramme	12
Périmètres des polygones	12
Tableau donnant le périmètre, la surface et les rayons des cercles inscrit et circonscrit des polygones réguliers	1

Surfaces.

Surface des polygones. Problèmes. 13
Surfaces courbes : cercle, secteur, segment, ellipse, segment d'ellipse, segment de parabole. 14

Mesure des surfaces planes irrégulières.

Méthode ordinaire, méthode de Thomas Simpson. . . . 15

Trigonométrie.

Résolution des triangles rectangles 16
Résolution des triangles quelconques. Problèmes . . . 16
Exemple de calcul trigonométrique. 18
Calcul d'un changement à deux voies de chemins de fer . 19
Applications de la Trigonométrie au levé des plans : Mener une perpendiculaire au moyen de la chaîne. . . . 22
Mesurer la largeur d'une rivière à l'aide de l'équerre d'arpenteur, Prolonger une ligne au-delà d'un obstacle. 22
Trouver la distance de deux points inaccessibles. Déterminer la hauteur d'un édifice, d'un arbre, d'une montagne. 23

Tracé pratique des courbes sur le terrain.

Tracé du cercle. Par les tangentes. Par la corde. Par une sécante 27
Tracé de l'axe d'un souterrain en courbe : par tangentes successives, par cordes successives 30
Tableau des abscisses et ordonnées : Equidistances sur la tangente. Equidistances sur la courbe 32
Vérification des rails en courbe au moyen de la flèche et de la largeur de la voie 37
Tracé de l'ellipse 38
Tracé de la parabole par tangentes successives . . . 39
Par abscisses et ordonnées. Par intersections de droites . 39
Courbe à flèches proportionnelles. 40
Raccordements paraboliques des courbes de chemin de fer. 41
Tableau et courbe de raccordement pour une vitesse de 100 kilomètres à l'heure 43
Table donnant la longueur des arcs et la surface des segments, connaissant la corde et la flèche : applications . 46

Géodésie.

Stadia. Equerre d'arpenteur. 49
Goniomètre. Graphomètre. Théodolite. 49
Boussole. Octant et sectant. 50
Vernier. Son application au théodolite 50
Planchette : levé d'un quadrilatère. 52

Pages

Nivellement 54
Mise en station du niveau « type Egault » 54
Manière d'opérer avec un niveau non réglé 56
Mise en station du niveau « type Lenoir » 56
Distance maxima à obtenir dans un nivellement 57
Coups avant. Coups arrière 57
Niveau de pente. Tachéomètre 58
Application à l'étude d'un chemin de fer 59
Calcul des points de passage des courbes des plans cotés . 60

Géométrie dans l'espace.

Dièdres. Ligne de plus grande pente 61
Propriétés des polyèdres 61
Tableau des surfaces et volumes des polyèdres réguliers. . 62
Volumes des polyèdres : Pyramide. Tétraèdre régulier. Tronc de pyramide. Prisme. Tronc de prisme triangulaire. Tronc de prisme quelconque. 63
Corps ronds : Sections coniques 63
Tableaux des surfaces et volumes des corps ronds. . . . 64
Théorèmes de Guldin : Surfaces et volumes de révolution . 67

Métrés et cubatures.

Métrés des ouvrages d'art = Application à un ponceau de 0,60 68
Mesurage des tas de pierres. 74
Jaugeage des tonneaux 74
Mesurage des bois en grume 74
Volume des corps quelconques 75
Volumes irréguliers : Méthode ordinaire. Méthode de Thomas Simpson 75
Rapport du vide d'un tas de pierres à son volume apparent ; Fabrication du béton et du mortier. Vide du sable . . 76

Terrassements.

Avant-projet. 77
Construction des tables des profils en travers 77
Profil en long : point de passage 79
Projet définitif Calcul des profils en travers 80
Profils en travers types 82

Mouvement des terres.

Méthodes arithmétique, graphique. Distance moyenne de transport 82
Centre de gravité des déblais et remblais, Polygone funiculaire 84

Pages

Transport des terres.

Prix de revient de la main-d'œuvre 85
Brouette. Voiture. Wagon. Locomotive 85
Transport aérien par câbles 86

Construction.

Des pierres à bâtir. Classification. Gélivité 88
Tableau des terrains au point de vue des matériaux de construction 89
Préservation des pierres calcaires 92
Essais des matériaux : User, écrasement, arrachement . . 82

Chaux et ciments.

Prise. Influence de l'eau de mer. Composition. Fabrication 93
Chaleur des fours. Pyromètres 96
Béton Coignet 96
Utilisation des escarbilles des chemins de fer 97
Moyens de prévenir l'humidité dans les constructions . . 97
Essai chimique des chaux et ciments. 97
Plâtre : Préparation. Propriétés. 98

Des bois.

Tableau : Bois durs. Bois blancs. Bois fins. Bois résineux. Bois exotiques 99
Structure des bois. Défauts. Qualités. 104
Conservation des bois. Dessiccation. Enduits. Flottage. Carbonisation. 105
Préparation au sulfate de cuivre, à la créosote 106
Débitage. Emplois divers. Bois artificiels 108
Pavage en bois. Différents systèmes 110
Teinture des bois 111

Des Métaux.

Tableau des métaux employés dans la construction. Propriétés 113
Nos des feuilles de zinc 116
Défauts des fers et des fontes 117

Peintures.

Détrempes. Vernis. Siccatifs. Peinture des fers de construction, etc. 118

Fondations

Procédés employés. Tableau. 120
Battage des pieux et palplanches. Arrachage 123
Fondations à l'air comprimé : principe 124
Puits isolés. Caissons. 125

Pages

Murs.

Murs isolés. Murs d'édifices : Épaisseurs. 127
Murs de soutènement. Poussée. Surcharge 128
Etude des profils des murs. Fruit 129
Epaisseur. Stabilité des murs supportant des réservoirs cylindriques. 132
Etude sur la stabilité. Application numérique 133
Consolidations des talus de chemin de fer. Contreforts. Drains 136
Escaliers. Formule 138

Planchers.

Planchers en bois. Tableaux des charges. 139
Tableau des colonnes creuses en fonte employées dans la pratique 140
Application numérique. Calcul d'un plancher 140
Moyen de tirer le meilleur parti d'un arbre. 142
Planchers en fer 143
Tableau des charges pratiques pour des fers I et [et des profils de rails 145
Comparaison des planchers en fer et en bois 148
Poutres armées. Calculs 149

Combles.

Poids et pentes des couvertures. Surcharges 150
Charpentes à la Polonceau. Calculs 151

Ponts en maçonnerie.

Règles pratiques pour déterminer les épaisseurs des voûtes, des culées, des piles 154
Stabilité. Surbaissements 154
Epaisseurs et poussées des voûtes : Pleins-cintres. Arcs de cercle. Ellipses. (Tableaux). 158
Tracé des anses de panier. Cas général 161
Voûtes en platebande. Epaisseurs. Courbe des pressions . 161

Ponts métalliques.

Instructions ministérielles du 29 août 1891 162
Travail du métal. Qualités du métal. Epreuves. Trains-types. Calculs 166
Distance des objets au rail 170
Moment fléchissant maximum produit par une locomotive (Problème). 171
Poutres en treillis. Calcul de la section 174
Comparaison d'une poutre en treillis avec une poutre pleine. 175
Diagrammes des poutres à travées égales et uniformément chargées 175

Poutres continues et poutres discontinues 177
Répartition des platebandes. 177
Gabarits pour le tracé des paraboles des moments fléchissants 177
Propriétés des paraboles des moments fléchissants. . . . 178
Effort de renversement des piles dû à la dilatation. Stabilité des piles. Coefficient de stabilité. 179
Appareils pour étudier la dislocation des maçonneries . . 180
Disposition adoptée pour assurer la dilatation. 182
Mesure des flèches des tabliers. 182
Détermination du travail du fer 184
Chariots pour la visite des tabliers 185
Mise en place des tabliers 186

Hydraulique.

Principe de Pascal: Vases communiquants 188
Applications diverses. Calcul des aiguilles d'un barrage . 189
Principe d'Archimède: Application 190
Orifice en mince paroi: Vannes. 192
Ajutages divers 192
Travail de l'écoulement de l'eau 192
Ecoulement par un déversoir en mince paroi 192
» « » suivi d'un coursier. . . . 193
Cas d'une pression sur le liquide 193
Temps nécessaire à l'écoulement 194
Ecoulement par un orifice noyé 194

Canaux découverts.

Vitesses affouillant les terrains. 195
Formule du débit 195
Jaugeage des cours d'eau. Puits. Vitesse moyenne 196

Conduites cylindriques.

Formule générale. Formule pratique 197
Table de Darcy. Applications numériques 198
Effet d'un réservoir supplémentaire dans l'alimentation. . 199
Prise d'eau intermédiaire. 199
Débit uniforme et débit d'extrémité 200
Comparaison entre un débit uniforme et un débit d'extrémité 200
Alimentation par deux réservoirs 201
Causes qui influent sur le débit des conduites 203
Jets d'eau. Vitesse. Hauteur du jet. 204
Siphons. Vitesse. 204
Distribution d'eau dans les villes ou les gares de chemin de fer 205

Calcul de la puissance de la machine. 205
Prise d'eau en rivière. 206
Résistance des tuyaux de conduite. 207
Résistance d'une sphère 208
Conduites employées dans les administrations 208
Quantité d'eau par tête d'habitant 209
Influence des fuites 209
Calcul des réservoirs en tôle. Type de réservoirs 210

Roues hydrauliques.

Roues en dessus à augets. 212
Roues de côté: Roue Sagebien 214
Roues en dessous: Roue Poncelet 215
Application numérique. 216
Roues pendantes 216

Turbines.

Turbine Fourneyron 217
Turbine Fontaine 218
Comparaison entre la grande et la petite vitesse 218
Turbines semblables 219
Turbine Callon-Girard. Hydropneumatisation 219
Moulins à eau. Puissance 220

Machines élévatoires.

Pompe aspirante et élévatoire 220
Pompes aspirantes et foulantes. 221
Réservoirs d'air 222
Accouplement. Proportions. Vitesses 223
Effet utile. Pompes ordinaires. Pompes à incendie 223
Pompes centrifuges. Vitesse. Débit. 224
Pompes rotatives. Pompe Greindl. 224

Machines à colonne d'eau.

Machine du Huelgoat 225
Bélier hydraulique. Bélier Bolée. 228
Chapelet incliné, vertical 230
Noria. Vis d'Archimède. 231
Roue à tympan 232
Pulsomètre de Hall. Pulsateur 233
Roues élévatoires 234

Presse hydraulique.

Application numérique. 234
Calcul des cylindres et tuyaux. Tableau 235

Propriétés générales des gaz et des vapeurs.

Gaz.

Baromètre. Loi de Mariotte. Manomètre 237
Mélange des gaz. Force ascensionnelle. 238
Dilatation. Thermomètre à air. Pyromètre 238
Densité. Chaleur spécifique 239

Vapeurs.

Mélange des gaz et des vapeurs. 239
Densité des vapeurs 239
Tableaux de la pression, du volume et du poids de vapeur. 240
Vaporisation. Chaleur latente. 241
Etat hygrométrique. Problème 241

Mouvement et écoulement des gaz.

Ecoulement par un orifice en mince paroi. Formules. . . 242

Conduites de gaz.

Formules de Péclet, d'Arson, d'Aubuisson 243
Application 245
Effet d'un registre sur la distribution. 245
Choix de la place que doit occuper le gazomètre 246
Mesure des pressions. Manomètres 246
Vitesses et pressions du vent sur les surfaces planes et courbes 247

Moulins à vent.

Pression. Travail. 248

Machines soufflantes.

Ventilateurs à force centrifuge. Résultats d'expériences . . 249
Machines à action directe. Application 252
Machines diverses. 253

Machines à gaz.

Moteurs Otto. Expériences 254
Moteur Ravel. Expériences. 257
Moteur Lenoir. Moteur Bischop. 259
Moteurs Simplex, Niel. Moteurs à gaz divers 259

Combustion.

Puissance calorifique d'un combustible 260
Loi de Dulong. Applications numériques. 260
Tableau des puissances calorifiques des combustibles et de l'air nécessaire à la combustion. 262

Température produite par la combustion 262
Essai industriel des houilles. 262
Calcul du charbon nécessaire à la décomposition du calcaire. 264
Foyer. Calcul de la grille. 264
Influence de l'épaisseur du combustible 266
Température d'un foyer 266

Cheminées.

Tirage. Vitesse à la sortie. Débit 267
Dimensions. Applications numériques. 268
Causes de l'insuffisance du tirage 269
Chaleur perdue. 270
Construction. Cheminées en briques 270
Cheminées en tôle 272

Transmission de la chaleur à l'air.

Formule générale 273
Cas d'un mur, des vitres, d'un tuyau de vapeur. 273
Applications. Matières isolantes. 274

Transmission de la chaleur à l'eau.

Applications. 275

Chauffage et ventilation.

Problème général du chauffage. 277
Chaleur transmise par les calorifères 279
Problème sur la ventilation. 279
Chauffage des trains de chemins de fer. 280

Ecoulement de la vapeur.

Volumes, poids écoulés par un orifice 281
Formules pratiques de l'écoulement 281
Extrait de l'ordonnance de 1843 concernant les soupapes de sûreté 282
Calcul de la pression au moyen des soupapes de sûreté. Application. 282

Chaudières à vapeur.

Extrait du décret du 30 avril 1888 et du décret du 29 juin 1886 284
Température prise par le métal 286
Incrustations 287
Influence des incrustations sur la température du métal . . 287
Hydrotimétrie 288
Moyens employés pour prévenir les incrustations. Enlèvement des incrustations 289

Divers systèmes de chaudières 291
Calcul des dimensions des chaudières à bouilleurs . . . 292
Vapeur produite par 1 kilogramme des divers combustibles . 294
Surface de chauffe. 294
Effets des fuites 294
Accidents occasionnés par les abaissements de niveau de l'eau 294
Injecteur Giffard 295
Calcul de l'épaisseur des chaudières 296
Rivure des tôles. 296

Machines à vapeur.

Travail de la vapeur à pleine pression 297
— agissant avec détente 298
Formule générale du travail de la vapeur avec détente . . 299
Vapeur dépensée par cheval et par heure. Tableau . . . 300
Comparaison entre une machine à condensation et une machine sans condensation 301
Expression générale du travail de la vapeur 302
Causes de pertes dans le travail des machines. 302
Etablissement des machines à vapeur. 303
Vitesses et nombre de tours admis dans la pratique . . . 304
Tableau de l'eau d'injection nécessaire pour la condensation 305
Dimensions et régime d'une machine d'une puissance donnée 306
Machines à deux cylindres « système Woolf » 307
Rendement des machines à vapeur. 307
Détermination de la puissance d'une machine existante : par l'Indicateur de Watt, par le frein de Prony, par le calcul 308
Puissance d'une machine à 2 cylindres « système Woolf » . 310
Application numérique à une machine à condensation . . 311
Application numérique à une locomotive. 312
Frein de Prony : Détails de construction. 313
Puissance absorbée par les machines-outils 315

Organes des transmissions de mouvement.

Calcul des arbres-tourillons. 317
Volants : Dimensions-puissance. 317
Des courroies. Dimensions. 318
Frottement des courroies et cordes sur un cylindre fixe : application 320

Des engrenages.

Tracé pratique des dents 321
Engrenages extérieurs 322
Engrenages intérieurs 323
Tracé des dents d'une roue quand le profil des dents de l'autre est donné 324

Engrenage à crémaillère. 325
Engrenages coniques 326
Engrenages à développantes de cercle 327
Vis sans fin conduisant un pignon. 329
Calcul des dents d'engrenage. Formules. 330
Application numérique 331
Frottement dans les engrenages. Application. 332

Mécanique

Centres de gravité :

Des lignes, des surfaces, des volumes 334
D'un corps quelconque 338
D'une zone de terrain. 338
Calcul du poids et du centre de gravité d'un corps d'un poids considérable. 339

Moments d'Inertie.

Rectangles, double T, cercle, ellipse. 341
Rails champignon. Brunel. Barlow. 342

Frottement de glissement.

Lois du frottement de glissement. 343
Cas d'une grande vitesse de chemin de fer 343
Tableau du frottement des surfaces planes et des tourillons. 344
Applications numériques. Frottement des pivots, des tourillons 345
Plan incliné : Mouvement ascendant. Mouvement descendant 346
Serrage des boulons : filets triangulaires. Filets carrés . . 348
Vis à filets carrés : Mouvement ascendant. Mouvement descendant 350
Treuil : Cas général. Cas des forces verticales. 351
Vis sans fin : La vis mène la roue. La roue mène la vis. . 351
Applications : Vérin Westmeyer 352
» Vérin garry 353
Palans : raideur des cordes. Applications. Tableau . . . 355

Frottement de roulement.

Tirage des voitures 357
Résistance des trains de chemin de fer 357
Due à la vitesse, aux rampes, aux courbes 358
Résistance propre de la locomotive 358
Adhérence. 358
Equation de la locomotive 359
Force en chevaux des locomotives 359
Application à un train de marchandises. 359
Résistance au démarrage 360

Résistance au vent 361
Passages des véhicules sur les traversées de voies. . . . 361
Considérations générales sur les voies à double champignon 363
Appareil enregistreur de la vitesse des trains. 364

Résistance des matériaux

Résistance à l'extension : Métaux, Bois, Cordes. Courroies . 366
Résistance à la compression : Métaux. Bois. 368
Résistance au cisaillement. Métaux 368
Résistance vive d'élasticité. Résistance vive de rupture. Métaux. Bois 369
Définitions. Applications 369
Résistance des matériaux de construction : Ecrasement. User. Traction. Densités. 371
Machines à essayer : les métaux à la traction — à la compression. Éprouvettes. 373
» les manches de pioches 375

Cahier des charges pour réception.

Epreuves des Fers : Traction. Coudage à froid. Epreuve à chaud 376
Epreuves des Fontes. Compression. Traction. Choc . . . 378
Epreuves de fil de fer de 4 $^{m}/_{m}$ et 1 $^{m}/_{m}$ $^{1}/_{2}$. 379
Epreuves des Rails double champignon acier de 11 mètres . 380

Boulons

Dimensions des boulons 382
Dimensions des écrous 382

Filetage.

Conditions que doivent remplir les vis 382
Projet d'unification des filetages (Société d'encouragement). 383
Combinaisons pour le filetage des vis d'un pas donné. . . 384
Filetage à 2 roues. 4 roues. 6 roues. 384

Rivets.

Dimensions des rivets 386
Effets d'un bouterollage incomplet. Adhérence. 386
Rivets des poutres à double T. 387

Câbles en chanvre.

Diamètre des câbles 387
Résistance des câbles goudronnés et mouillés 387

Câbles métalliques.

Dimension des câbles métalliques. 388
Comparaison avec les câbles en chanvre 388

Chaînes.

Diamètre des chaînes. 388
Comparaison avec les chaînes avec étançons. Chaînes sans soudure. 389

Supports des abouts des poutres des tabliers métalliques.

Sabots de friction. 389
Sommiers en pierre de taille 390
Rouleaux de friction. 391

Poteaux et Colonnes.

Cas d'une petite hauteur. 392
Poteaux en bois 392
Résultats trouvés par Rondelet. 392
Formule de Hodgkinson. 392
Charge de sécurité des pilotis 393
Colonnes en fonte pleines : Formule de Love. Tableau . . 393
Colonnes en fer pleines : Formule de Love. Tableau. . . 394
Colonnes en fonte creuses : Diamètres intérieur et extérieur. 395

Renseignements divers.

Travail de l'homme, des animaux, des machines.

Tableau des efforts exercés sur les outils par l'homme . . 396
Travail fourni par l'homme : Transport vertical, horizontal. 397
Conditions diverses. Travaux de chemin de fer 398
Travail fourni par les animaux : Cheval à différentes allures Bœuf. Ane 399
Machines pour le travail des bois : Force en chevaux. Tours de la poulie motrice 400
Machines pour le travail des métaux : Force en chevaux des machines-outils 400
Alliages, Soudures, Mastics 401
Antifriction. Bronze. Cuivre. Laiton. Caractères d'impression. 401
Composition des soudures : Plombiers. Ferblantiers. Chaudronniers 401
Mastics pour joints : Mastic rouge au minium. Mastic de fonte. Mastic pour hautes températures. 402
Retrait des métaux fondus : Retraits linéaire, superficiel, cubique. 402

Série de prix relative au remplacement du ballast d'un chemin de fer.

1° Ballastière en tranchée 403
2° Ballast obtenu par dragages. 404

Sous-détails des prix de revient élémentaires des ouvrages d'art.

Terrassements. Pilonnages. Gazonnements 405
Banquettes. Chaussées. Chaux. Ciments 408
Maçonneries. Chapes. Dalles. Pavages 410
Perrés. Béton. Charpente. Pieux 415
Palplanches 417

Prix de revient des ouvrages d'art.

Prix de revient des tunnels au mètre courant. 417
Ponceaux et ponts par dessous 419
Ponts par dessus ou P. S. 419
Tableau des poids et prix des ponts métalliques. . . . 420

Notions de minéralogie.

Caractères distinctifs des minéraux. 421
1° géométriques 421
2° physiques 422
3° extérieurs 423
Essai au chalumeau 423
Propriétés de quelques roches 424
Propriétés physiques des corps solides: Densités. Fusion. Dilatation 425
Propriétés physiques des liquides: Densités. Fusion. Ebullition. Dilatation 427
Propriétés des gaz: Equivalents. Densités. Fusion. Ebullition 428

TABLE ALPHABÉTIQUE

A

Abaissement de niveau dans les chaudières. . 294
Abouts des tabliers . 389-391
Accouplement des pompes 223
Adhérence des trains . 358
Aiguilles d'un barrage . 189
Aimantation des rails 363
Air nécessaire à la combustion 262
Ajutages divers. . . . 192
Alimentation. . . . 199-203
Alliages industriels . . 401
Ane (travail de l'). . . 399
Angles d'un polygone. . 9
Année (1er jour de l'). . 1
Annuités 6
Anses de panier (tracé des) 161
Appareil enregistreur de la *vitesse des trains*. 364
Appareils pour l'étude des *dislocations dans les maçonneries* . . . 180
Applications de la trigonométrie au levé des plans. 22
Arbres (calculs des) . . 317
Arcs de cercle (voûtes en) 158
Arithmétique et algèbre 1-8
Arrachage des pieux . . 123
Arrachement (essai à l'). 82
Arrangement monétaire . 3
Assainissement des *talus de chemins de fer* . 136
Avant-projet de terrassements. 77

B

Ballastières. . . 403-404
Banquettes gazonnées (prix des) 408
Baromètres. 237
Battage des pieux et palplanches . . . 123-417
Bélier Bolée 228
Béton Coignet 96
Béton (prix du) . . . 415
Bissectrices des angles du triangle 11
Bois (propriétés — emplois des) 99
Bois artificiels. . . . 108
Bœuf (travail du). . . 399
Boulons (dimensions des) 382
Boussole 50
Brouette (transport à la) 85

C

Caissons à l'air comprimé 125
Calcul trigonométrique . 18
Calcul d'un plancher. . 140
Cahiers des charges 376-380
Câbles en chanvre. . . 387
Câbles métalliques . . 388
Calcul d'une roue hydraulique. 216
Calcul des presses hydrauliques 234
Calcul de la pression de la vapeur 282

Calcul de l'épaisseur des chaudières . . . 296
Calcul des dents d'engrenage 330
Carbonisation des bois . 105
Carrelage des appartements 9
Caractères des minéraux. 421
Canaux découverts . 195-196
Causes de l'insuffisance du tirage des cheminées . 269
Calorifères (chaleur transmise) 279
Cercle (tracé) . . . 27
Centre de gravité *des terrassements*. . . . 84
Centre de gravité d'une pièce d'un poids considérable. 339
Centres de gravité . 334-339
Centres des lignes, surfaces, volumes . . . 334
Centre d'un corps quelconque 338
Centre d'une zone de terrain 338
Chapelet incliné-vertical . 230
Chaleur spécifique des gaz 239
Chaleur latente de fusion 2
Chaleur de vaporisation. 241
Chaleur de décomposition du calcaire 264
Cheminées en briques, en tôle. 267-272
Chaleur perdue par les cheminées 270
Chauffage et ventilation 277-280
Chauffage des trains . 280
Chaudières à vapeur 284-296
Chaudières à bouilleurs . 292
Chalumeau (essai au) . . 423
Chute des corps (formule) 2
Chapes des voûtes. . . 410
Charpentes (prix). . . 415
Chaînes en fer — acier . 388
Cheval (travail du) . . 399
Chaussées (prix) . . . 408
Chaux 408
Changement de voies . 19
Chaleur des fours de cuisson 96
Charges pratiques pour poutres 143
Charpente à la Polonceau 151
Charges pratiques pour rails. 143
Chariots pour la visite des tabliers. . . . 185
Ciments. 93-408
Cisaillement 368
Classification des pierres à bâtir 88
Coefficients et données diverses. 2
Coefficients de dilatation. 425
Courbe à flèches proportionnelles . . . 40
Coups avant — Coups arrière 57
Corps ronds (surface-volume) 64
Construction . . . 88-186
Composition des chaux et ciments 93
Conservation des bois. . 105
Consolidation des talus 136
Contreforts pour remblais 136
Colonnes en fonte employées 140
Combles 150
Comparaison des planchers. 148
Comparaison des poutres. 175
Combustion 260
Conduites de gaz. . 243-247
Colonnes (résistance des) 392
Composition des alliages. 401
Composition des soudures 401
Composition des mastics. 402
Convention monétaire . 3
Contrerails exhaussés. 361
Compression (métaux-bois) 368
Conduites cylindriques . 197
Conduites (diamètre). . 208
Comparaison des turbines 218
Construction des cheminées 270
Condensation 305
Courroies . . . 318-320
Créosotage des bois. . 106
Croisement de voies . 361
Crémaillère 325
Culées des ponts . . . 154

D

Dallages (prix) . . . 410
Densité des corps . 425-428
Degré du méridien . . 1
Degré géothermique . . 421
Densité moyenne de la terre 421
Densité des matériaux de construction. . . . 371
Densité des gaz et des vapeurs. 239
Démarrage 360
Débit des cheminées . . 267
Débit uniforme des conduites 200
Débit d'extrémité des conduites 200
Débit des canaux découverts. 195
Débit des conduites cylindriques 197
Défauts des bois . . . 104
Dessiccation des bois . 105
Débitage des bois. . . 108
Défauts des fers et fontes 117
Détrempes (peintures) . 118
Dents d'engrenage . 321-330
Détente (travail de la) . 299
Décrets de 1880-1886 . 284
Développantes de cercle . 327
Déversoirs 192
Dilatation des corps. 425-428
Dilatation des gaz. . . 238
Distance de 2 points inaccessibles. 23
Distance maxima d'un nivellement 57
Dièdres. 61
Distance de transport 82-84
Diagrammes des poutres. 175
Dilatation (effet de la) . 179
Dislocation des maçonneries 180
Dilatation des tabliers . 182
Distribution d'eau . . 205
Dimensions des cheminées 268
Dimensions des chaudières 292
Dimensions des machines. 306
Dragages 404
Droites vues sous des angles donnés 10
Drainage des talus de chemins de fer . . 136
Distances minima au rail 170

E

Eau de mer pour mortiers 93
Ebullition 427
Ecrasement (Essai à l') . 82
Ecoulement par un orifice en mince paroi. . . 192
Ecoulement par déversoirs 192
Ecoulement par orifice noyé 194
Ecoulement des gaz . . 242
Ecoulement de la vapeur 281
Ecrasement (matériaux de construction) . . . 371
Ecrous (dimensions) . . 382
Effort de renversement 179
Effet utile des pompes . 223
Effort de l'homme . . . 396
Ellipse (surface) . . . 14
» (tracé) . . . 38
» (voûtes) . . . 158
Enduits des bois . . . 105
Engrenages. . . 321-332
Engrenages extérieurs. . 322
» intérieurs. . 323
» coniques . . 326
» à crémaillère . 325
» à développante 327
Epaisseurs *des murs*. . 132
Epaisseurs des voûtes, culées, piles 154
Epaisseurs des plates-bandes 161
Epaisseurs des chaudières 296
Eprouvettes pour essais . 373
Epreuves des tabliers. 162-170
Epreuves des fers . . 376
» des fontes . . 378
» des fils de fer . 379
Epreuves des rails d'acier 380
Equations du 2e degré. 8

Equations bicarrées . . 8
Equerre d'arpenteur . . 49
Equivalent mécanique de la chaleur 2
Equations de la locomotive 359
Equivalents chimiques . 428
Essais des matériaux . . 82
Essais des chaux et ciments 97
Escarbilles (utilisations) 97
Escaliers (formule) . . 138
Essai des houilles . . . 262
Etude d'un tracé de chemin de fer. . . 59
Etat hygrométrique . . 241
Etablissement des machines à vapeur . . . 303
Extension (résistance) . 366

F

Fabrication des mortiers. 76
Fabrication des chaux et ciments 93
Feuilles de zinc (nos). 116
Fers et fontes (défauts) . 117
» (épreuves). 373
Filets des vis 348
Fil de fer (épreuves) . . 379
Filetage 382-384
Flottage des bois . . . 105
Flèches des tabliers . . 182
Fondations . . . 120-125
Fondations à l'air comprimé 124
Force ascensionnelle . . 238
Formules de Péclet, Arson 243
» d'Aubuisson. . 243
Foyer (calcul). . . . 264
Formule du travail de la vapeur 302
Formule de Hodgkinson . 392
Formule de Love . . . 394
Formule de la chute des corps. 2
Formule du pendule . . 2
Fruit des murs de soutènement 129
Frein de Prony. . . 308-313
Frottement des courroies. 320
Frottement des engrenages. 332
Frottement de glissement 343-355
» *sur rails* . 343
» *de roulement.* 357-364
Fractions 4
Fuites dans les conduites 209
» de vapeur . . . 294
Fusion des corps . 425-428

G

Gaz (propriétés). 237-239-428
Gazomètre 246
Gazonnements (prix) . . 405
Gélivité. 88
Généralités. 1
Géométrie plane . . . 9-15
Géodésie 49-60
Géométrie dans l'espace . 61
Glissement sur rails . 343
Glissement des surfaces planes 344
Glissement des tourillons 344
Goniomètre-Graphomètre. 49
Grille (calcul) . . 264-292

H

Hauteur des triangles . 11
» d'un édifice . . 23
» d'un arbre . . 23
» d'une montagne. 23
» des jets d'eau . 204
» de l'atmosphère . 2
Humidité des murs . . 97
Hydraulique . . 188-235
Hydropneumatisation. . 219
Hygrométrie 241

I

Indicateur de Watt . . 308
Incrustations . . 287-289
Injecteur Giffard . . . 295
Influence des incrustations sur la température du métal. 287
Influence de l'épaisseur du combustible . . 266
Instruction ministérielle (1891) (Ponts) . 162
Intérêts composés. . . 6

J

Jaugeage des tonneaux . 74
» des cours-d'eau 196
Jaugeage des puits . . 196
Jets d'eau 204

L

Largeur d'une rivière (levé). 22
Levé de plans . . . 22
Ligne de plus grande pente 61
Lieue marine 1
Liquides (propriétés) . . 427
Locomotive (transport) . 85
Locomotive (moment fléchissant). 171
Locomotive (calcul) . . 312
Locomotive (équation) . 359
Locomotive (résistance). 358
Locomotive (force en chevaux). 359
Loi de Mariotte . . . 237
Loi de Dulong. . . . 260
Lois du frottement. . 343
Longueur du pendule. . 2

M

Machines à vapeur 297-315
» soufflantes. . 249
» à cylindre. . 252
» à gaz . . 254-259
» Otto . . . 254
» Ravel . . . 257
Machines Lenoir, Bisschop. 259
Machines Simplex-Niel . 259
» à gaz diverses 259
Machines à vapeur à condensation 301
Machines sans condensation 301
Machines Wolf . . . 307
» à condensation (problème) 311
Machines-outils (puissance) 315
Machines à essayer les métaux. 373
Machines à essayer les manches de pioches . 375
Machines-outils (travail) 400
Machines à colonne d'eau 225
» élévatoires. . 220
» du Huelgoat . 225
Manière de se servir d'un niveau mal réglé . . 56
Manomètres 237
Manomètres et décrets (1843-1880). . . . 284
Maçonneries (prix) . . 410
Matériaux de construction 88-371
Mastics divers. . . . 402
Matières isolantes. . . 274
Mécanique . . . 334-364
Médianes du triangle. . 11
Méthode de Simpson . 15-75
Métré et cubatures . . 68-86
Métré d'un ponceau. . 68
Mesurage des tas de pierres 74
Mesurage des bois en grume 74
Méthodes arithmétique,

graphique (mouvement des terres) 82
Métaux 113-117
Métaux pour construction 113
Mesure des flèches des tabliers 182
Mélange des gaz . . . 238
Mélange des gaz et des vapeurs 239
Mesure des pressions . . 246
Mille marin 1
Minéralogie . . . 421-424
Mise en place des tabliers 186
Monnaies françaises . . 3
Moyen de tirer le meilleur parti d'un arbre. . . 142
Mouvement des terres 82-86
Moulins à eau. . . . 220
Moulins à vent . . . 248
Mouvement et écoulement des gaz 242
Moyens de combattre les incrustations . . . 289
Moments d'inertie. . 341-342
Mouvements de la voie 363
Murs 127-138
Murs de soutènement. . 128
Murs supportant des réservoirs 213
Murs (perte de chaleur). 273

N

Nivellement . . . 54-60
Niveau d'Egault . . . 54
Niveau Lenoir. . . . 56
» de pente . . . 58
» d'eau des chaudières 294
Nombre de tours des machines 304
Nœud (mesure) . . . 1
Noria 231

O

Octant et sectant . . . 50
Ordonnance de 1843 . . 282
Organes de transmission . 317
Orifice en mince paroi . 192
Orifice noyé 194
Ouvrages d'art (prix) 405-420

P

Palans 355
Palplanches 417
Parallélogramme . . . 12
Parabole (tracé) . . . 39
Parabole des moments fléchissants 177
Pavages 410
» en bois . . . 110
Permutations 7
Perpendiculaires du triangle 11
Périmètre des polygones. 12
Perpendiculaire (levé) . 22
Peintures 118
Pertes dans les machines 302
Perrés (prix) 415
Pierres à bâtir . . . 88
Pieux et palplanches 415-123
Piles (épaisseur) . . . 154
Pilotis 393
Pilonnages (prix) . . . 405
Pivots 345
Plâtre 98
Planchers 139-149
» en bois. . . 139
» en fer . . . 143
Platebandes . . . 177-161
Plan incliné 346
Planchette (levé) . . . 52
Plans cotés (points de passage) 60
Polygones 12
Polyèdres 61
Polygone funiculaire . 84
Ponts en maçonnerie. 154-161
» métalliques . 162-186
Pompes 220-224
» centrifuges . . 224

Pompes rotatives . . 224
Poids d'un corps lourd . 339
Poids des couvertures . 150
Poids des tabliers. . . 420
Poids de 1 litre d'air. . 2
Ponts et ponceaux (prix) 419
Ponts ou P. S. (prix). 419
Poussée des voûtes . . 158
» des murs de soutènement 128
Poutres en treillis . . 174
» uniformément chargées 175
» chargées en un point 175
» encastrées . . . 176
» discontinues. . . 177
» armées 149
Poteaux et colonnes . 392
Proportions et rapports . 4
Progressions 5
Prolonger une ligne au-delà d'un obstacle. . 22
Prisme 63
Profil en long 79
Profils en travers . . 80-77
Profils types pour chemins de fer . . . 82
Profils des murs de soutènement 129
Préservation des pierres. 92
Prise des chaux et ciments 93
Préparation des bois . 106
Procédés de fondations 120
Propriétés des paraboles des moments fléchissants 178
Principe de Pascal. . . 188
» d'Archimède. . . 190
Prise d'eau sur un tuyau 199
Prise d'eau en rivière. . 206
Proportions des pompes. 223
Projet définitif de terrassements 80
Presse hydraulique . 234
Propriétés des gaz et vapeurs. 234-237
Pression, volume, poids de vapeur 240
Pression du vent. . 361-247
Prix de revient élémentaires des ouvrages d'art. 405-417
Prix des ouvrages d'art 417-420
Prix de la main-d'œuvre. 85
Puits isolés (fondations). 125
Pulsomètre. 233
Pulsateur. 234
Puissance des machines 308
» des machines Woolf 310
» des mach.-outils . 315
» *des locomotives* . 359
» des ouragans . . 2
» des machines d'alimentation . . . 205
» calorifique . . . 260
Pyramide (Surface-volume) 63
Pyromètres. . . . 238-96

Q

Qualités des bois . . . 104 | Quantité d'eau par habitant 209

R

Raccords paraboliques des courbes de chemin de fer 41
Rayons des cercles inscrits 12
» circonscrits. . . 12
Rails (moments d'inertie) 342
» (résistance). . . 144
» (épreuves) . . . 380
Raideur des cordes . . 355
Remplacement du ballast 403
Rendement des machines 307
» des pompes. . . 223
Régime des machines . 306
Registres (effet des) . . 245
Renversement des piles . 179
Renseignements divers 396-428
Réservoirs d'air. . . . 222
» en tôle (calculs) . 210
Réservoir pour alimentation 199
Résolution des triangles. 16
Résultats de Rondelet (poteaux) 392
Résistance des trains . 357
» *de la locomotive* . 358
» *au démarrage* . 360
» *au vent*. . . . 361

Résistance des tuyaux . 207
» d'une sphère . . 208
Résistance des matériaux. 366-395
Résistances vives. . . 369
» des matériaux de construction . 371
» des cables . . . 387
Retrait des métaux fondus 402
Rivure des tôles . . . 296
Rivets 386
Roues hydrauliques. 212-216
» en-dessus. . . . 212
» de côté — Sagebien 214
» en-dessous-Poncelet 215
» pendantes . . . 216
» à tympan . . . 232
» élévatoires . . . 234
Roulement 357-364
Rouleaux de friction . . 391
Roches (propriétés) . . 424

S

Sabots de friction. . . 389
Sécantes. 9
Secteur-Segment . . . 14
Segments (Table) . . . 46
Sections coniques . . . 64
Serrage des boulons . . 348
Série de prix (ballast). 403
» (Ouvrages d'art) 405-417
Siccatifs 118
Siphons. 204
Sommation des rails . 5
» des pas de boulets 7
Sommiers de ponts . . 390
Solides (propriétés) . . 425
Soudures autogènes (Tracé) 30
Soupapes de sûreté 282
Soudures diverses. . 401
Stadia 49
Structure des bois . . 104
Stabilité des murs . . 133
» des ponts . . 154
Surfaces des polygones . 12
» des courbes . . 14
» planes irrégulières 15
» des polyèdres . 63
» de révolution . 67
» de chauffe . . 294
Sulfate de cuivre (préparation des bois) . . 106
Surcharges des Murs. . 128
Surcharges des couvertures 150
Surbaissements . . . 154
Supports des Tabliers. . 389

T

Table de Darcy. . . 388
» de la pression de la vapeur. 241
» des poids et volumes de vapeur . . . 241
» générale calculée 242
» d'abscisses et ordonnées des arcs d'ovale 32
Tables numériques
» [illegible] 1-32
» [illegible] 33-88
» [illegible] 89-[illegible]
» [illegible] 183
» [illegible] 182
Tangentes 4
Tachéomètre 58
Températures de combustion . . . 262
» [illegible] 266
» [illegible] 266
» moyenne de Paris. 2
Temps des opérations du remblai 2
Ténacité des bois . . . 111
Tirants nécessaires à l'ancrement. 134
Tuyaux 35-46
Tuyaux [illegible] 38
Tuyaux [illegible] 53

Thermomètre à air . . . 238
Théodolite 49
Théorèmes de Guldin . . 67
Tirage des cheminées . . 267
Timbre (décrets 1843-1880) 284
Tirage des voitures . . . 357
Titre d'un alliage. . . . 3
Tourillons 317
Tracé des courbes. . 27 46
» des paraboles des moments fléchissants. 117
» des dents d'engrenage. 321
Traversée de voie (calcul) 361
Traction d'un train. . 359
Trains (résistance) . . . 357
Trains-types (épreuves) 167-169
Transmission de la chaleur
» à l'air . . . 273
» à l'eau. . . 275
Transport des terres, 85-405
» aérien par câbles 86
» vertical et horizontal des fardeaux . . 397
Travail des Tabliers 184
Travail de l'écoulement de l'eau 192
» de la vapeur. . . 297
» de l'homme. . . 396
» des animaux . . 399
» des machines . . 400
» des bois. 400
» de une calorie. . 2
Travaux de chemins de fer 398
Treuil 351
Trinôme du 2e degré. . . 8
Triangles (propriétés) . . 11
Trigonométrie 16-23
Tronc de pyramide . . . 63
» de prisme. 63
Turbines 217-220
» Fourneyron . . 217
» Fontaine . . . 218
» semblables . . 219
» Callon-Girard . 219
Tunnels (prix).. 417
Tuyau de vapeur (chaleur perdue) 273
Tympan 232
Types de profils de chemin de fer 82

U

Unification des filetages 383
» des jauges de de tréfilerie. 384
User (essai à l'). 82
User (résistance). 371

V

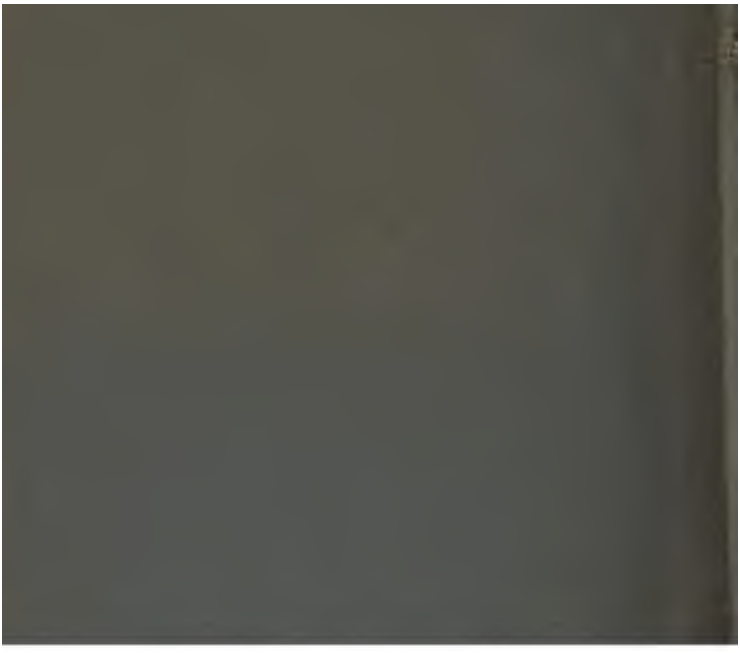
Valeur de 1 gramme des monnaies. 3
Vapeurs. 239-241
Vaporisation 241
Vapeur écoulée. 281
» produite par les combustibles . 294
» dépensée par cheval. . . . 300
Vases communiquants . . 188
Vannes (écoulement). . . 192
Vérification des Rails en courbe 37
Vernier. 50
Vernis 118
Ventilateurs 249
Ventilation 279
Vent (résistance au). . . . 361
Vérins Westmeyer. . . . 352
» Garry. 353
Vide du sable, du gravier. 76
Visite des Tabliers . . . 185
Vis d'archimède. 231
Vis sans fin. 329-351
Vis à filets triangulaires, carrés 348
Vis (filetage des) 384
Vitesses affouillant les terres 195
Vitesse moyenne des cours d'eau 196
» des jets d'eau . . 204

Vitesse des siphons . . . 204
» des pompes . . . 223
» du vent. 247
» des gaz des cheminées. 267
» des Machines . . 304
» du son 2
» des *trains* . . . 364
» de la lumière . . 2
» d'écoulement des gaz. 242
Vitesse d'écoulement des vapeurs. . . . 281
Vitres (perte de chaleur). 273
Volume des polyèdres . . 63
» de révolution . . 67
» des corps quelconques 75
» irréguliers. . . . 75.
Voies champignon . . . 363
Voiture (transport) . . . 85
Voûtes (épaisseur). . . . 154
Volants (calculs) 317

W

Wagon (transport au) . . 85
Wagons (chauffage des). . 280

Paris. — Imprimerie E. Bernard et Cie, 23, rue des Grands-Augustins.



TF 151 .V78
Carnet du conducteur de travau
Stanford University Libraries
3 6105 041 652 590